



TUGAS AKHIR - RF 141501

ESTIMASI KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN AMPLIFIKASI DESA OLAK ALEN BLITAR MENGGUNAKAN METODE MIKROTREMOR HVSR

NOMENSEN M. H. SITORUS
NRP. 3713 100 020

Dosen Pembimbing
M. Singgih Purwanto, S.Si, MT
NIP. 19800916 200912 1002

Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RF 141501

**ESTIMASI KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN AMPLIFIKASI
DESA OLAK ALEN BLITAR MENGGUNAKAN METODE
MIKROTREMOR HVSR**

NOMENSEN M.H. SITORUS
NRP 3713100020

Dosen Pembimbing
M. Singgih Purwanto, S.Si, MT
NIP. 19800916 200912 1002

Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1001

Jurusan Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



UNDERGRADUATE THESIS - RF 141501

**ESTIMATION OF SEDIMENT LAYER THICKNESS AND
AMPLIFICATION VALUE OF OLAK ALEN VILLAGE BLITAR BY
USING MICROTREMOR HVSr METHOD**

NOMENSEN M.H. SITORUS
NRP 3713100020

Supervisors:

M. Singgih Purwanto, S.Si, MT
NIP. 19800916 200912 1002

Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1001

Geophysical Enginerring
Faculty of Civil and Planologi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2017

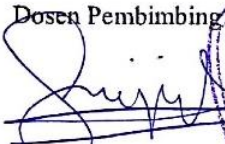

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

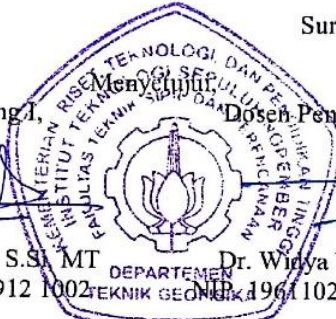
ESTIMASI KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN AMPLIFIKASI DESA OLAK ALLEN BLITAR MENGUNAKAN METODE MIKROTREMOR HVSR

TUGAS AKHIR

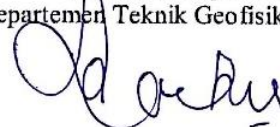
Diajukan untuk memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Jurusan Teknik Geofisika
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 28 Juli 2017

Menyetujui,
Dosen Pembimbing I,

M. Singgih Purwanto, S.Si, MT
NIP. 19800916 200912 1002
Dosen Pembimbing II,

Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19641024 198803 1001



Mengetahui,
Kepala Laboratorium
Geofisika Eksplorasi
Departemen Teknik Geofisika-FTSP



Dr. Ayi Syaeful Bahri, S.Si, MT
NIP. 19690906 199702 1001

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

PERNYATAAN KEASLIAN

TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul “**Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVS**” adalah benar benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 28 Juli 2017

Nomensen M.H. Sitorus

NRP 3713100020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ESTIMASI KETEBALAN LAPISAN SEDIMEN DAN AMPLIFIKASI DESA OLAK ALEN BLITAR MENGUNAKAN METODE MIKROTREMOR HVSR

Nama Mahasiswa : Nomensen M.H. Sitorus
NRP : 3713100020
Jurusan : Teknik Geofisika FTSP-ITS
Dosen Pembimbing : M. Singgih Purwanto, S.Si,MT
Dr. Widya Utama, DEA

ABSTRAK

Tanah longsor yang terjadi di Desa Olak Alen Blitar pada Desember 2016 berada di lokasi dengan lapisan sedimen yang tebal (>30 meter). Lapisan sedimen yang tebal dan berasosiasi dengan kemiringan lereng yang tinggi sangat rentan terhadap potensi gerakan tanah. Selain itu faktor perbesaran perambatan gelombang (Amplifikasi) yang semakin tinggi juga akan meningkatkan resiko terjadinya gerakan tanah. Oleh karena itu telah dilakukan pengukuran mikrotremor dengan metode HVSR di Desa Olak Alen. Melalui metode HVSR akan diperoleh nilai amplifikasi dan frekuensi natural dari kurva H/V. Berdasarkan nilai frekuensi natural dan N-SPT dari data bor dihitung nilai ketebalan sedimen. Ketebalan lapisan sedimen Desa Olak Alen berkisar antara 17,03 – 221,39 meter dengan nilai amplifikasi antara 1,3 – 6,2. Longsor yang terjadi di Desa Olak Alen berada di lokasi dengan ketebalan lapisan sedimen 52-87 meter dan nilai amplifikasi 4,1 – 5,7

Kata Kunci : Ketebalan sedimen, amplifikasi, frekuensi natural, HVSR.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ESTIMATION OF SEDIMENT LAYER THICKNESS AND AMPLIFICATION VALUE OF OLAK ALLEN VILLAGE BLITAR BY USING MICROTREMOR HVSR METHOD

Student Name : Nomensen M.H. Sitorus
Student ID Number : 3713100020
Department : Teknik Geofisika FTSP-ITS
Supervisors : M. Singgih Purwanto, S.Si,MT
Dr. Widya Utama, DEA

ABSTRACT

The landslide in the village of Olak Alen Blitar in December 2016 is in a location with a thick sedimentary layer (> 30 meter). A thick layer of sediment and associated with a high slope of the slope is very susceptible to the potential of ground motion. In addition, the increasing factor of wave propagation (Amplification) will also increase the risk. Therefore, microtremor measurement has been done with HVSR method in Olak Alen Village. By HVSR method will obtain the amplitude and natural frequency from the H / V curve. Based on the value of natural frequency and N-SPT from the drill data is calculated the value of sediment thickness. The thickness of the sediment layer of Olak Alen Village ranges from 17.03 - 221.39 meters with an amplification value between 1.3 - 6.2. The Landslide Occurring in Olak Alen Village is in a location with a thickness of 52-87 meter sediment layer and an amplification value of 4.1 - 5.7

Keywords : Sediment thickness, amplification, natural frequency, HVSR

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kepada Tuhan yang Maha Esa atas berkat dan kasih karunia-Nya sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul “Estimasi Ketebalan Lapisan Sedimen dan Amplifikasi Desa Olak Alen Blitar Menggunakan Metode Mikrotremor HVSr” ini dapat terselesaikan dengan baik sebagai salah satu syarat kelulusan Program Sarjana Departemen Teknik Geofisika Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Pelaksanaan dan penyusunan Laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bimbingan, bantuan, dan dukungan berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak, Mama, Abang, dan semua keluarga besar saya yang telah memberikan dukungan selama proses Tugas Akhir berjalan.
2. Bapak M. Singgih Purwanto, S.Si, MT dan Bapak Dr. Widya Utama, DEA selaku pembimbing yang telah meluangkan waktunya agar penelitian berjalan lancar.
3. Bapak Eko selaku warga Desa Olak Alen yang telah membantu melancarkan proses akuisisi data dengan baik dan memberikan tempat tinggal yang nyaman untuk istirahat selama berada di Desa Olak Alen.
4. Imam, Haris, Faizal, Novritza, Dwipa, Alif, dan Jubilate yang telah membantu dalam akuisisi data tugas akhir.
5. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Semoga Tuhan yang Maha Esa membalas semua kebaikan yang telah dilakukan. Penulis menyadari banyaknya kekurangan dalam pelaksanaan Tugas Akhir. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis maupun bagi pembaca.

Surabaya, 28 Juli 2017

Nomensen M.H. Sitorus
NRP. 3713100020

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR ISI

COVER JUDUL	i
COVER TITLE.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR.....	vii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR	xiii
DAFTAR ISI	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan	2
1.5 Manfaat	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Tanah Longsor.....	3
2.2 Gelombang Seismik	4
2.3 Mikrotremor	6
2.3.1 Faktor Amplifikasi	7
2.3.2 Frekuensi Natural	8
2.4 Transformasi Fourier	10
2.5 Kondisi Geologi Daerah Penelitian	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	13
3.1 Lokasi Penelitian	13
3.2 Peralatan Penelitian	15
3.3 Tahapan dan Alur Penelitian	15
3.4 Timeline Pengerjaan.....	19
3.5 Kurva Keuangan.....	22
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN.....	23
4.1 Analisis Data	23
4.2 Pembahasan.....	28

4.2.1 Faktor Amplifikasi	29
4.2.2 Frekuensi Natural	32
4.2.3 Ketebalan Sedimen	36
4.2.4 Analisis Longsor	39
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	41
5.1 Kesimpulan.....	41
5.2 Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	45
BIODATA PENULIS	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen-komponen gaya pada medium berbentuk kubus (Telford <i>et al.</i> , 2004).....	5
Gambar 2.2 Jenis-jenis Gelombang; a. Gelombang P ; b. Gelombang S ; c. Gelombang Rayleigh ; d. Gelombang Love (Elnashai dan Sarno, 2008)	5
Gambar 2.3 Peta fisiografi Jawa Timur (Van Bemmelen, 1949).....	12
Gambar 2.4 Peta Geologi Desa Olak Alen, Kecamatan Selorejo, Jawa Timur (Sjarifuddin dan Hamidi, 1992).....	12
Gambar 3.1 Titik Pengukuran Mikrotremor	13
Gambar 3.2 Peralatan akuisisi. A. Seismograf 3 Komponen MAE. B. Seismograf 3 Komponen SARA. C. GPS Garmin. D. Kompas Geologi	15
Gambar 3.3 Road Map Penelitian	16
Gambar 3.4 Alur pengerjaan Tugas Akhir.....	17
Gambar 3.5 Timeline pengerjaan dan Kurva S	21
Gambar 3.6 Kurva keuangan	22
Gambar 4.1 Data awal pengukuran mikrotremor TP 2	23
Gambar 4.2 Windowing pada TP 2	24
Gambar 4.3 Kurva HVSR TP 2	25
Gambar 4.4 Hubungan Vs terhadap kedalaman.....	28
Gambar 4.5 Peta Persebaran Nilai Amplifikasi Desa Olak Alen.....	31
Gambar 4.6 Peta Persebaran Nilai Frekuensi Natural Desa Olak Alen	34
Gambar 4.7 Peta Kontur Ketebalan Lapisan Sedimen.....	38
Gambar 4.8 Hubungan Frekuensi Natural terhadap Ketebalan Lapisan Sedimen	39
Gambar 4.9 Peta Elevasi Desa Olak Alen	40

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Penyebab dan Faktor Pemicu Tanah Longsor (Alhasanah, 2006).....	4
Tabel 2.2 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Setiawan, 2009).....	8
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin, et. al, 2013)	9
Tabel 3.1 Koordinat titik pengukuran mikrotremor	14
Tabel 3.2 Durasi Rekaman (SESAME, 2004)	18
Tabel 4.1 Kriteria Kurva H/V oleh <i>SESAME European Research Project</i>	25
Tabel 4.2 Titik Pengukuran Tidak Memenuhi Kriteria Kurva Reliabel.....	26
Tabel 4.3 Nilai Vs dan Exponential factor (X)	27
Tabel 4.4 Nilai faktor amplifikasi titik pengukuran mikrotremor.....	29
Tabel 4.5 Klasifikasi Nilai Amplifikasi Desa Olak Alen.....	30
Tabel 4.6 Nilai frekuensi natural titik pengukuran mikrotremor	33
Tabel 4.7 Klasifikasi Nilai Frekuensi Natural Desa Olak Alen	35
Tabel 4.8 Ketebalan Lapisan Sedimen Desa Olak Alen	37

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Longsor merupakan gerakan menuruni lereng oleh massa tanah dan atau batuan penyusun lereng, akibat dari terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Daerah Jawa Timur banyak yang mempunyai sudut lereng terjal, jenis tanah bertekstur halus dengan ketebalan lebih dari 1 meter serta curah hujan yang cukup tinggi. Kabupaten Blitar memiliki ketinggian rata-rata sekitar 167 meter dengan keadaan topografi sangat bervariasi mulai dari dataran, bergelombang, hingga berbukit (BPS Kabupaten Blitar, 2015). Desa Olak Alen berada di Kecamatan Selorejo, Kabupaten Blitar. Bencana tanah longsor terjadi di Desa Olak-Alen pada tanggal 2 Desember 2016. Hal ini diperkirakan diakibatkan oleh curah hujan yang sangat tinggi dan lama mulai beberapa hari sebelum terjadinya longsor. Selain itu lokasi longsor ini juga tepat berada di daerah dengan kelerengan yang cukup tinggi.

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Pacitan, Jawa (Sjarifudin dan Hamidi, 1992) batuan penyusun di sekitar daerah bencana terdiri dari komponen andesit, basalt dan batuapung. Secara umum topografi di sekitar lokasi gerakan tanah berupa perbukitan bergelombang dengan ketinggian lebih dari 390 m dpl. Daerah bencana termasuk zona potensi terjadi gerakan tanah menengah Berdasarkan Peta Prakiraan Potensi Terjadi Gerakan Tanah pada Bulan Desember 2016 di Kabupaten Blitar, Provinsi Jawa Timur yang diterbitkan oleh badan geologi. Zona potensi gerakan tanah menengah artinya apabila pada daerah ini terjadi curah hujan diatas normal, terutama pada daerah yang berbatasan dengan lembah sungai, gawir, tebing jalan dan lereng akan mengakibatkan gerakan tanah. Karena berada pada zona menengah maka dapat disimpulkan bahwa potensi terjadinya gerakan tanah di daerah ini cukup besar dengan kondisi curah hujan tinggi.

Pada suatu daerah yang mengalami longsor cenderung berada pada daerah yang memiliki lapisan sedimen lebih tebal yang berasosiasi dengan kondisi topografi lebih tinggi daripada arah longsorannya. Maka untuk mengetahui ketebalan sedimen suatu daerah dilakukan pengukuran mikrotremor. Metode yang digunakan adalah metode HVSR dengan tujuan memperoleh kurva H/V. Metode ini merupakan metode yang membandingkan antara rasio spektrum dari sinyal mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikalnya. Dari kurva H/V kemudian akan didapatkan 2 parameter penting yang merepresentasikan kondisi geologi pada daerah tersebut. Kedua parameter ini adalah amplifikasi dan frekuensi natural. Frekuensi natural sangat berkaitan erat

dengan ketebalan lapisan lapuk/sedimen dan nilai kecepatan perambatan gelombangnya. Sementara amplifikasi merupakan faktor percepatan perambatan gelombang. Semakin kontras nilai impedansi lapisan sedimen dan bedrock maka nilai amplifikasinya akan semakin besar. Sehingga berdasarkan nilai amplifikasi dan ketebalan sedimen dapat diketahui potensi pergerakan tanah yang akan terjadi di Desa Olak Alen.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun beberapa permasalahan yang akan diteliti dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan ketebalan lapisan sedimen pada Desa Olak Alen?
2. Bagaimana hubungan antara nilai ketebalan lapisan sedimen, elevasi, dan amplifikasi terhadap longsor di Desa Olak Alen?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Pengukuran yang dilakukan saat kondisi musim hujan dianggap sama dengan kondisi saat musim kemarau.
2. Kurva H/V yang reliabel mengacu pada tetapan yang dikeluarkan oleh *SESAME European Research Project*

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menentukan ketebalan lapisan sedimen Desa Olak Alen, Kecamatan Selorejo, Blitar.
2. Mengetahui hubungan antara ketebalan lapisan sedimen, elevasi, dan amplifikasi terhadap longsor di Desa Olak Alen

1.5 Manfaat

Dengan mengetahui ketebalan lapisan sedimen dan arah pergerakan longsor maka dapat digunakan sebagai rujukan untuk pembangunan perumahan dan tata guna lahan Desa Olak Alen kedepannya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah Longsor

Tanah longsor merupakan bentuk erosi dimana pengangkutan atau gerakan masa tanah terjadi pada suatu saat dalam volume yang relatif besar (Suripin, 2002). Peristiwa tanah longsor dikenal sebagai gerakan massa tanah, batuan atau kombinasinya, sering terjadi pada lereng-lereng alam atau buatan dan sebenarnya merupakan fenomena alam yaitu alam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan atau faktor yang mempengaruhinya dan menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah.

Jenis tanah longsor berdasarkan kecepatan gerakannya dapat dibagi menjadi 5 jenis yaitu :

- Aliran : Longsoran bergerak serentak/mendadak dengan kecepatan tinggi.
- Longsoran : Material longsoran bergerak lamban dengan bekas longsoran berbentuk tapal kuda.
- Runtuhan : Umumnya material longsoran baik berupa batu maupun tanah bergerak cepat sampai sangat cepat pada suatu tebing.
- Majemuk : Longsoran yang berkembang dari runtuhan atau longsoran dan berkembang lebih lanjut menjadi aliran.
- Amblesan : Terjadi pada penambangan bawah tanah, penyedotan air tanah yang berlebihan, proses pengikisan tanah serta pada daerah yang dilakukan proses pemadatan tanah.

Tanah longsor dapat terjadi karena faktor dinamis dan faktor statis (Alhasanah, 2006). Pada tabel 2.1 dijelaskan beberapa parameter yang ermasuk ke dalam faktor pemicu statis dan faktor pemicu dinamis. Faktor pemicu dinamis yaitu longsoran yang diakibatkan oleh adanya pergerakan dari luar atau adanya interaksi antara tanah dengan lingkungan lain atau aktivitas manusia. Sementara faktor pemicu statis lebih kepada nilai fisis batuan atau lapisan tanah tersebut. Jenis tanah sangat menentukan terhadap potensi erosi dan longsor. Tanah yang gembur karena mudah meloloskan air masuk ke dalam penampang tanah akan lebih berpotensi longsor dibandingkan dengan tanah yang padat (*massive*) seperti tanah bertekstur liat (*clay*). Hal ini dapat terlihat juga dari kepekaan erosi tanah. Nilai kepekaan erosi tanah (K) menunjukkan mudah tidaknya tanah mengalami erosi, ditentukan oleh berbagai sifat fisik dan kimia tanah. Makin kecil nilai K makin tidak peka suatu tanah terhadap erosi (Sitorus, 2006).

Tabel 2.1 Faktor Penyebab dan Faktor Pemicu Tanah Longsor (Alhasanah, 2006)

No	Faktor Penyebab	Parameter
1.	Faktor Pemicu Dinamis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kemiringan lereng 2. Curah hujan 3. Penggunaan lahan (aktivitas manusia)
2.	Faktor Pemicu Statis	<ol style="list-style-type: none"> 1. Jenis batuan dan struktur geologi 2. Kedalaman solum tanah 3. Permeabilitas tanah 4. Tekstur tanah

Faktor geologi yang mempengaruhi terjadinya gerakan tanah adalah struktur geologi, sifat batuan, hilangnya perekat tanah karena proses alami (pelarutan), dan gempa. Struktur geologi yang mempengaruhi terjadinya gerakan tanah adalah kontak batuan dasar dengan pelapukan batuan, retakan/rekahan, perlapisan batuan, dan patahan. Zona patahan merupakan zona lemah yang mengakibatkan kekuatan batuan berkurang sehingga menimbulkan banyak retakan yang memudahkan air meresap (Surono, 2003).

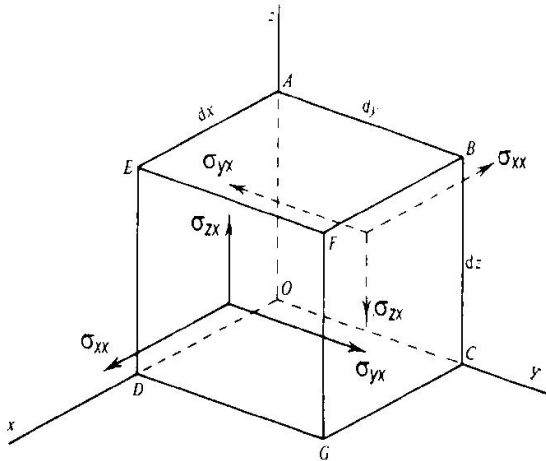
2.2 Gelombang Seismik

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui yaitu bumi bersifat elastik. Oleh karena itu sifat penjaralan gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya. Teori lempeng tektonik telah menjelaskan bagaimana pergerakan dari lempeng bumi. Pergerakan lempeng bumi menyebabkan batuan terdeformasi atau berubah bentuk dan ukuran karena adanya pergerakan antar lempeng. Deformasi akibat bergerak lempeng ini berupa tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*).

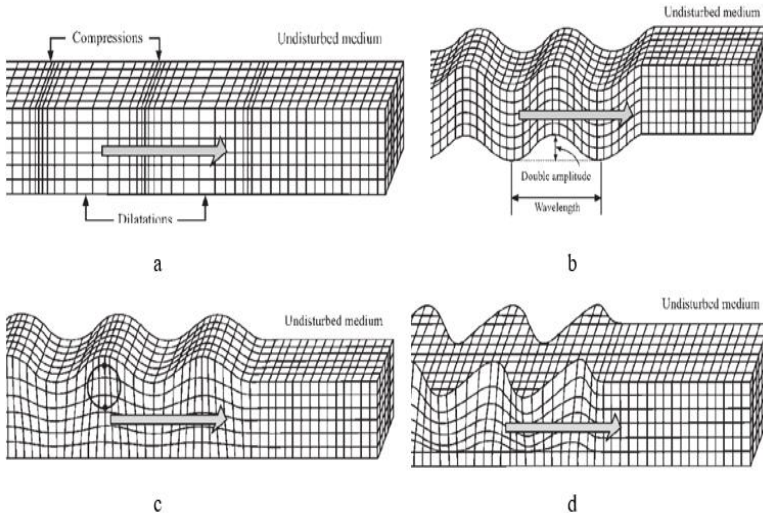
Gelombang merambat pada suatu medium ke segala arah. Dapat dimisalkan seperti medium berbentuk kubus pada gambar 2.1. Secara tiga dimensi arah perambatan gelombang dinyatakan dengan sumbu x , y , z . Jika ditinjau sebuah elemen kecil volume di mana tegangannya berada pada dua permukaan yang tegak lurus terhadap sumbu x , maka komponen komponen tegangannya ditunjukkan seperti pada gambar 2.1 tersebut.

Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode penimbunan gelombang seismik secara disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia. Metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah

seperti gempa. Gelombang seismik dapat diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).



Gambar 2.1 Komponen-komponen gaya pada medium berbentuk kubus (Telford *et al.*, 2004)



Gambar 2.2 Jenis-jenis Gelombang; a. Gelombang P ; b. Gelombang S ; c. Gelombang Rayleigh ; d. Gelombang Love (Elnashai dan Sarno, 2008)

Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastis dan arah perambatannya ke seluruh bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya gelombang badan dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S. Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi/gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Pada gelombang P arah pergerakan partikelnya sejajar dengan arah perambatan gelombang. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2a

Gelombang S disebut juga gelombang *shear*/ gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja. Pada Gelombang S arah pergerakan partikelnya tegak lurus terhadap arah rambatnya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2b

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik (Susilawati, 2008). Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu gelombang Rayleigh dan gelombang Love.

Gelombang Rayleigh merupakan gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Gelombang ini orbit gerakannya elips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2c

Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang S horizontal yang penjarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah and Fisher, 2009). Gelombang ini hanya merambat pada batas lapisan saja dan bergerak hanya pada bidang horizontal. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2d

2.3 Mikrotremor

Mikrotremor disebut juga vibrasi tanah dengan *amplitude displacement* sekitar 0,1-1 mikron dengan *amplitude velocity* 0,001-0,01 cm/s (Mirzaoglu dan Dykmen, 2003). Getaran ini dapat disebabkan oleh gangguan buatan seperti aktivitas lalu lintas, mesin pabrik, dan sebagainya. Dapat juga disebabkan oleh sumber alam seperti angin dan gelombang laut yang berperiode panjang. Dalam mikrotremor dikenal metode HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*). Metode ini merupakan metode yang efektif, murah dan ramah lingkungan yang dapat digunakan pada wilayah permukiman. Metode HVSR biasanya digunakan pada seismik pasif (mikrotremor) tiga komponen. Nakamura menyebutkan

bahwa metode HVSR untuk analisis mikrotremor bisa digunakan untuk memperoleh frekuensi natural sedimen (Mufida dkk, 2013). Teknik HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) pada analisis data mikrotremor telah digunakan secara luas untuk studi efek lokal dan mikrozonasi.

Metode HVSR dilakukan dengan cara estimasi rasio spektrum Fourier komponen vertikal terhadap komponen horisontal. Frekuensi natural setempat merupakan frekuensi pada rasio HVSR puncak pertama, sedangkan rasio HVSR pada frekuensi natural merupakan nilai amplifikasi geologi setempat (SESAME, 2004). Parameter penting yang dihasilkan dari metode HVSR adalah frekuensi natural dan amplifikasi. HVSR yang terukur pada tanah bertujuan untuk karakterisasi geologi setempat, frekuensi natural dan amplifikasi yang berkaitan dengan parameter fisik bawah permukaan (Herak, 2008).

2.3.1 Faktor Amplifikasi

Amplifikasi merupakan perbesaran gelombang seismik yang terjadi akibat adanya perbedaan yang signifikan antar lapisan, dengan kata lain gelombang seismik akan mengalami perbesaran, jika merambat pada suatu medium ke medium lain yang lebih lunak dibandingkan dengan medium awal yang dilaluinya. Oleh karena itu nilai amplifikasi dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$A_0 = \frac{\rho_b \cdot v_b}{\rho_s \cdot v_s} \quad (2.1)$$

Pada persamaan (2.1) di atas A_0 merupakan nilai amplifikasi. Kemudian ρ_b dan ρ_s secara berturut-turut adalah nilai densitas batuan dasar (gr/ml) dan nilai densitas batuan lunak/permukaan. Sementara itu v_b dan v_s secara berturut-turut adalah nilai cepat rambat gelombang di batuan dasar (m/dt) dan cepat rambat gelombang di batuan lunak (m/dt).

Amplifikasi berbanding lurus dengan nilai perbandingan spektral horizontal dan vertikalnya (H/V). Nilai amplifikasi bisa bertambah, jika batuan telah mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan atau pesesaran) yang mengubah sifat fisik batuan (Saaduddin, 2015). Menurut Towhata (2008) ada 4 penyebab amplifikasi suatu daerah yaitu:

- Adanya lapisan lapuk yang terlalu tebal di atas lapisan keras.
- fn (frekuensi natural tanah) rendah.
- fn gempa dengan geologi setempat sama atau hampir sama.
- Gelombang gempa terjebak di dalam lapisan lapuk dalam waktu yang lama.

Nilai faktor amplifikasi yang berbeda beda pada suatu daerah dapat diklasifikasikan berdasarkan tinggi rendahnya dengan klasifikasi sebagai berikut:

Tabel 2.2 Klasifikasi Nilai Faktor Amplifikasi (Setiawan, 2009)

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi
1	Rendah	$A < 3$
2	Sedang	$3 \leq A < 6$
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$

Pada tabel 2.2 di atas nilai amplifikasi diklasifikasikan menjadi 4 zona yaitu zona rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Pada persamaan (2.1) telah dijelaskan persamaan nilai amplifikasi. Sehingga dari persamaan (2.1) dan tabel 2.2 dapat dilihat apabila suatu daerah termasuk zona rendah berarti perbedaan antar lapisan lebih kecil dibandingkan zona sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Atau dengan kata lain pada zona 4 perbedaan antar lapisan sangat signifikan.

2.3.2 Frekuensi Natural

Frekuensi natural atau frekuensi dominan merepresentasikan banyaknya gelombang yang terjadi dalam satuan waktu. Frekuensi natural dipengaruhi oleh besarnya kecepatan rata-rata dan ketebalan sedimen bawah permukaan. Frekuensi natural berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen (*bedrock*) dan berbanding lurus dengan kecepatan rata-rata. Nilai frekuensi natural suatu daerah dipengaruhi oleh ketebalan lapisan lapuk (H) dan kecepatan bawah permukaan (Vs) (Mucciarelli et al, 2008). Seperti yang ditunjukkan pada persamaan 2.2 berikut:

$$f_n = \frac{V_s}{4H} \quad (2.2)$$

Nilai frekuensi dominan dapat diklasifikasikan berdasarkan jenis tanahnya atau tipe tanahnya seperti pada tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Berdasarkan Nilai Frekuensi Dominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin, et. al, 2013)

Klasifikasi Tanah		Frekuensi Dominan	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe	Jenis			
Tipe IV	Jenis IV	6,667 – 20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan Hard sandy, gravel, dll	Ketebalan sedimen permukaannya sangat tipis, didominasi oleh batuan keras
Tipe III	Jenis III	10 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5-10 meter
Tipe II	Jenis II	2,5 – 4	Batuan alluvial, dengan ketebalan > 5 m. Terdiri dari <i>sandy-gravel, sandy hard clay, loam</i> , dll.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
Tipe I	Jenis I	< 2,5	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, <i>top soil</i> , lumpur, dll. Dengan kedalaman 30 m atau lebih	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal

Pada tabel 2.3 dijelaskan mengenai perbedaan nilai frekuensi dominan pada beberapa jenis tanah dan batuan tertentu. Selain itu juga berpengaruh kepada ketebalan sedimennya. Semakin tebal lapisan sedimennya maka nilai frekuensinya akan semakin kecil. Berdasarkan hal tersebut maka lapisan dengan klasifikasi tanah tipe I termasuk daerah dengan ketebalan sedimen paling tebal dan klasifikasi tanah tipe IV merupakan lapisan sedimen paling tipis.

Dari nilai frekuensi natural dan nilai N-SPT dapat dihitung ketebalan lapisan sedimen pada suatu daerah. SPT merupakan tes penetrasi tanah yang dilakukan untuk mengetahui jenis tanah di lokasi dengan melakukan bor. Sebelum menghitung ketebalan sedimen terlebih dahulu dihitung nilai kecepatan gelombang gesernya (V_s). Banyak peneliti yang telah mengembangkan korelasi antara nilai N-SPT dan kecepatan gelombang geser (V_s) untuk berbagai jenis tanah. Berdasarkan data *borehole* litologi pada daerah penelitian berupa pasir kelanauan (*silty sand*) sampai kedalaman 30 meter. Oleh karena itu pada

penelitian ini pendekatan Vs digunakan persamaan Hanumantharao & Ramana (2008) untuk *silty sand* atau *sand silt* sebagai berikut:

$$V_s = 86,0N^{0,42} \frac{m}{s} \quad (2.3)$$

Kemudian setelah nilai Vs setiap kedalaman diketahui maka kemudian dicari nilai exponential faktor (X) dengan persamaan...

$$V_s(z) = V_o (1 + Z)^X \quad (2.4)$$

Dengan Vs (Z) merupakan kecepatan gelombang geser pada kedalaman (Z). Dan Vo merupakan kecepatan gelombang permukaan. Z merupakan kedalaman dan X merupakan exponential factor. Kemudian dapat dihitung ketebalan lapisan sedimen menggunakan persamaan 2.5

$$m = \left[\frac{V_o(1 - X)}{4fr} + 1 \right]^{\frac{1}{(1-X)}} - 1 \quad (2.5)$$

Dengan m merupakan ketebalan/kedalaman bedrock. Dan Vo merupakan kecepatan gelombang permukaan. fr adalah frekuensi dominan dan X sebagai exponential factor.

2.4 Transformasi Fourier

Transformasi Fourier adalah suatu formula matematis yang mentransformasikan fungsi dalam kawasan waktu menjadi fungsi lain dalam kawasan frekuensi. *Fast Fourier Transform* (FFT) adalah suatu algoritma yang digunakan untuk merepresentasikan sinyal dalam domain waktu dan domain frekuensi. *Fast Fourier Transform* (FFT) dihitung pada masing-masing komponen dari sinyal yang dipilih dan estimasi yang *reliable* dari puncak frekuensi HVSR menggunakan algoritma *smoothing* yang diusulkan oleh Krono dan Ohmachi dengan koefisien bandwidth sebesar 40.

Data yang sudah di filter, dianalisa dengan metode HVSR yang di dapat dari akar kuadrat dari amplitudo spektrum Fourier horizontal (*Nourth-South* dan *East-West*) dibagi dengan spektrum Fourier vertikal. Seperti pada persamaan 2.4 berikut:

$$R(t) = \left[\frac{\sqrt{F_{Ns}(T)^2 + F_{EW}(T)^2}}{F_Z(T)} \right] \quad (2.6)$$

Pada persamaan 2.6 tersebut diketahui bahwa R(t) merupakan spektrum rasio vertikal terhadap horizontal. F_{NS}, F_{EW} dan F_Z secara berturut-turut adalah

Spektrum fourier di *North-South*, Spektrum fourier di *East-West* dan Spektrum fourier di Z.

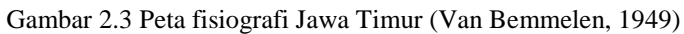
2.5 Kondisi Geologi Daerah Penelitian

Jawa Timur dan Madura dibagi menjadi tujuh zona fisiografi dari selatan ke utara berturut-turut adalah sebagai berikut: Zona Pegunungan Selatan Bagian Timur, Zona Solo, Zona Kendeng, Zona Randublatung, Zona Rembang, Dataran Aluvial Jawa Utara, dan Gunung Api Kuarter (Van Bemmelen, 1949). Daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Solo. Zona Solo dapat dibagi menjadi tiga subzona, yaitu:

- Subzona Blitar pada bagian selatan. Subzona ini merupakan jalur depresi yang sempit, berhubungan dengan Pegunungan Selatan di bagian selatan dan ditutupi oleh endapan aluvial.
- Subzona Solo Bagian Tengah. Subzona ini dibentuk oleh deretan gunung api kuarter dan dataran antar gunung api. Dataran antar gunung api ini pada umumnya dibentuk oleh endapan lahar.
- Subzona Ngawi pada bagian utara. Subzona ini merupakan depresi yang pada umumnya dibentuk oleh endapan aluvial dan endapan gunung api.

Berdasarkan pembagian zona fisiografi Jawa Timur tersebut, daerah penelitian termasuk ke dalam Zona Solo dengan lokasi penelitian seperti pada Gambar 2.3. Pada arah timur dan barat dibatasi oleh zona gunung api kuarter. Sebelah utara dibatasi oleh zona kendeng dan sebelah selatan dibatasi oleh zona pegunungan selatan.

Kabupaten Blitar memiliki jenis batuan dari satuan batu gamping dan satuan batuan vulkanik dan marin yang berumur Miosen, satuan batuan vulkanik muda, batuan endapan alluvial sungai dan satuan endapan alluvial pesisir. Desa Olak Alen berada di Kecamatan Selorejo yaitu di sebelah timur laut Kabupaten Blitar dengan luas sekitar 3.335 ha dan berada pada ketinggian lebih dari 390 meter diatas permukaan laut. Desa Olak Alen merupakan daerah yang hampir seluruh bagiannya terbentuk oleh endapan gunung api Butak yang terdiri atas lava, breksi gunung api, tuf breksi dan tuf pasir dan sisanya berupa endapan Tuf yang terdiri dari tuf lapilli, tuf batuapung dan lava (gambar 2.4).

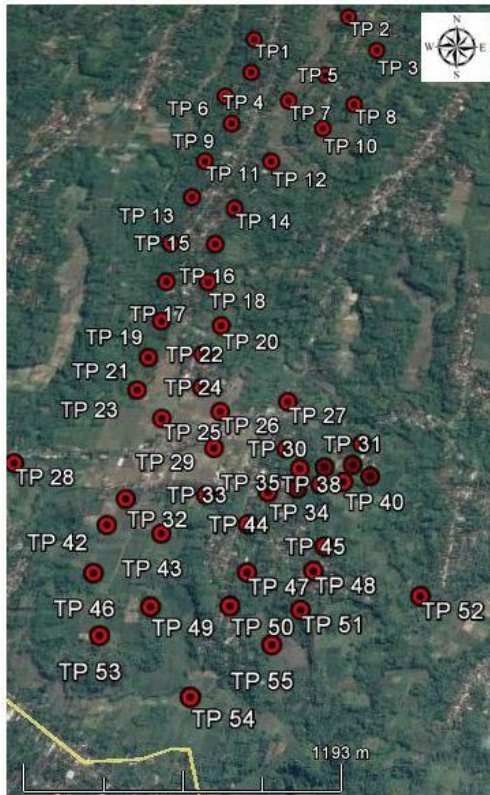


BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi pengukuran berada di Desa Olak Alen, Kecamatan Selorejo, Blitar. Pengukuran dilakukan pada 55 titik yang tersebar di seluruh daerah desa Olak Alen.



Gambar 3.1 Titik Pengukuran Mikrotremor

Titik pengukuran mikrotremor kemudian di *plotting* berdasarkan koordinatnya. Koordinat titik pengukuran mikrotremor dapat dilihat pada tabel 3.1. Berikutnya nama titik pengukuran disingkat menjadi TP. Jadi karena titik pengukuran mikrotremor ada 55 maka akan ada TP 1 sampai TP 55.

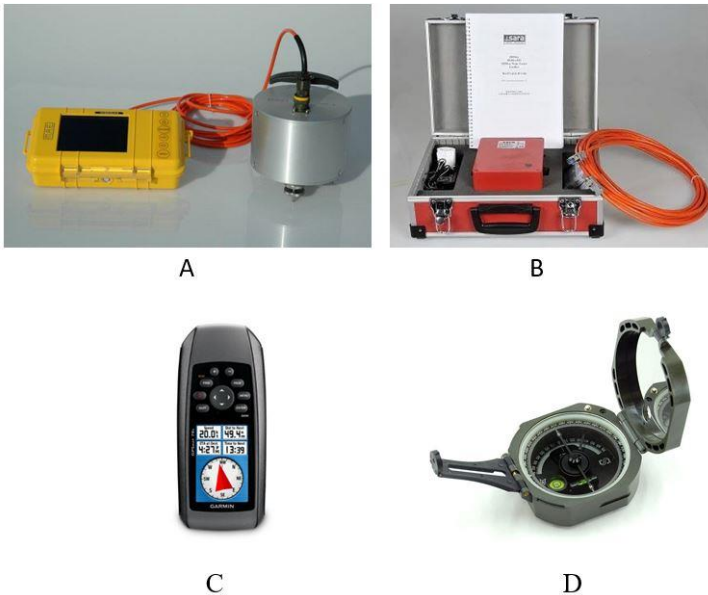
Tabel 3.1 Koordinat titik pengukuran mikrotremor

Nama Titik	Koordinat		Nama Titik	Koordinat	
	X	Y		X	Y
TP 1	657873	9102775	TP 29	658054	9100629
TP 2	658315	9102912	TP 30	658360	9100625
TP 3	658481	9102706	TP 31	658673	9100652
TP 4	657893	9102574	TP 32	657727	9100403
TP 5	658251	9102563	TP 33	658059	9100419
TP 6	657789	9102411	TP 34	658315	9100430
TP 7	658093	9102419	TP 35	658430	9100536
TP 8	658407	9102399	TP 36	658433	9100446
TP 9	657849	9102279	TP 37	658532	9100544
TP 10	658277	9102262	TP 38	658525	9100468
TP 11	657759	9102070	TP 39	658645	9100558
TP 12	658068	9102068	TP 40	658616	9100483
TP 13	657733	9101874	TP 41	658722	9100511
TP 14	657939	9101813	TP 42	657669	9100292
TP 15	657677	9101633	TP 43	657899	9100256
TP 16	657883	9101625	TP 44	658254	9100290
TP 17	657696	9101434	TP 45	658581	9100197
TP 18	657884	9101431	TP 46	657659	9100086
TP 19	657710	9101238	TP 47	658282	9100088
TP 20	657976	9101218	TP 48	658552	9100092
TP 21	657688	9101059	TP 49	657915	9099948
TP 22	657930	9101067	TP 50	658236	9099949
TP 23	657673	9100901	TP 51	658520	9099934
TP 24	657953	9100910	TP 52	658991	9099994
TP 25	657808	9100765	TP 53	657739	9099829
TP 26	658051	9100797	TP 54	658135	9099390
TP 27	658328	9100848	TP 55	658422	9099796
TP 28	657217	9100569			

3.2 Peralatan Penelitian

Penelitian yang dilakukan membutuhkan beberapa peralatan baik itu peralatan utama maupun peralatan pendukung. Alat utama yang yang dibutuhkan adalah Seismograf 3 Komponen MAE dan SARA. Alat inilah yang digunakan untuk mengukur gelombang bawah permukaan dan kemudian mencatatnya di memori. Khusus untuk alat SARA dibutuhkan Laptop untuk membantu proses perekaman dan penyimpanan data hasil pengukurannya dan Aki 12 Volt sebagai sumber tegangan.

Sesuai aturan dan ketentuan pengukuran data mikrotremor pada sensor terdapat tulisan arah *North* dengan begitu maka dibutuhkan kompas untuk memastikan arah sensor ke arah *North*. Kemudian peralatan lain yang tidak kalah penting adalah GPS. GPS dibutuhkan untuk membantu menemukan lokasi titik pengukuran yang akurat sesuai dengan koordinat yang telah di plot. Untuk lebih jelasnya gambar alat yang digunakan saat akuisisi adalah sebagai berikut:

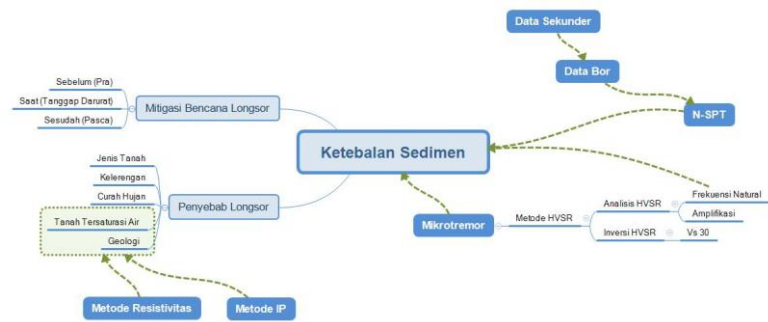


Gambar 3.2 Peralatan akuisisi. A. Seismograf 3 Komponen MAE. B. Seismograf 3 Komponen SARA. C. GPS Garmin. D. Kompas Geologi

3.3 Tahapan dan Alur Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan tahapan dan alur penelitian baik sebagai kelompok maupun individu. Di Desa Olak Alen terjadi pergerakan

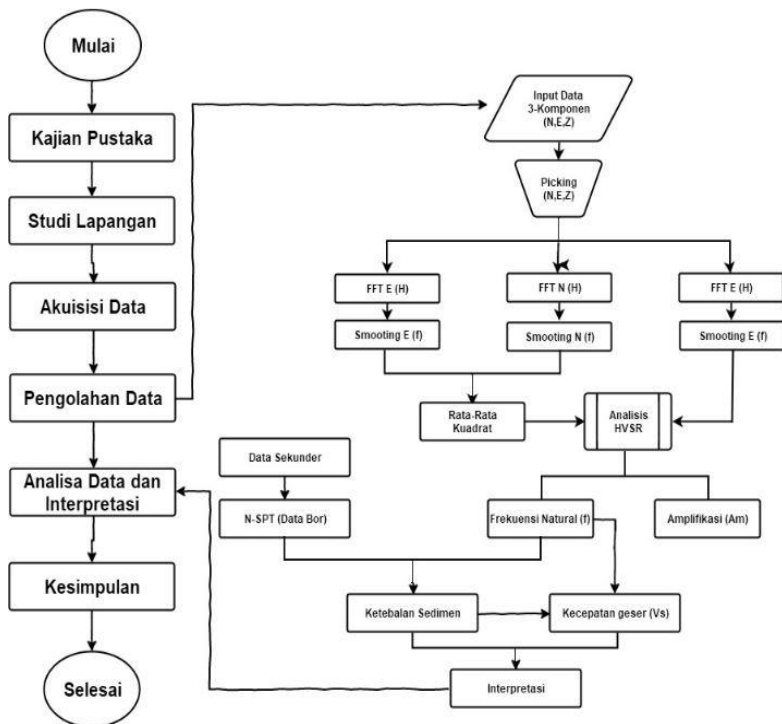
tanah atau longsor dimana dalam melakukan analisisnya dapat dilakukan dengan beberapa metode yang saling berhubungan. Oleh karena itu dalam Penelitian Analisis Tanah Longsor Desa Olak Alen, Blitar ini dikerjakan oleh beberapa orang dalam satu tim.



Gambar 3.3 Road Map Penelitian

Pada gambar 3.3 di atas dapat dilihat bahwa longsor dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor penyebab longsor yang beragam menyebabkan dibutuhkannya beberapa analisis seperti pada faktor kelerengn dan efek tanah tersaturasi air. Pengukuran tersebut dilakukan dengan metode resistivitas dan metode polarisasi induksi (IP). Selain itu juga dilakukan pengukuran mikrotremor dengan menggunakan metode HVSr. Pengukuran ini akan menghasilkan kurva H/V yang kemudian dapat ditentukan nilai frekuensi natural dan amplifikasinya. Dari nilai frekuensi natural dan N-SPT yang diperoleh dari data bor maka dapat dihitung ketebalan lapisan sedimen di Desa Olak Alen Blitar.

Berdasarkan roadmap penelitian tersebut, penulis akan melakukan penelitian sesuai dengan tahapan dan alur seperti pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Alur pengerjaan Tugas Akhir

Pada gambar 3.4 dijelaskan mengenai apa saja yang dilakukan penulis mulai dari tahapan paling awal hingga proses penelitian selesai. Alur pengerjaan tugas akhir gambar 3.4 akan dijelaskan pada uraian berikut:

a. Kajian Pustaka

Kajian pustaka merupakan langkah pertama yang harus dilakukan sebelum memulai penelitian. Kajian ini dibutuhkan untuk memperdalam pengetahuan tentang apa saja yang akan dikerjakan dalam penelitian dan juga agar lebih memahami kondisi lapangan. Kajian pustaka ini dapat dilakukan dengan mempelajari buku, paper, journal, dan peta. Pustaka tersebut dapat berupa *hard copy* atau *soft copy* yang didapat dari internet. Kajian pustaka yang berhubungan dengan penelitian ini berupa pustaka tentang karakteristik longsor, mikrotremor metode HVSR, analisis ketebalan lapisan sedimen berdasarkan nilai frekuensi. Kajian pustaka tersebut telah terdapat dalam bab II tugas akhir ini.

b. Studi Lapangan

Studi lapangan atau survei lapangan dilakukan dengan mengunjungi langsung daerah yang akan diteliti. Tujuannya adalah agar kita lebih memahami kondisi lapangan tempat kita akan meneliti sehingga kita dapat mempersiapkan segala sesuatunya dengan baik. Selain itu dengan adanya survei ini juga dapat membantu dalam menentukan desain akuisisi pengukuran.

c. Akuisisi Data

Pada tahapan ini dilakukan pengukuran atau pengambilan data mikrotremor sesuai desain akuisisi yang telah dibuat. Saat melakukan pengukuran minimalkan adanya gangguan atau *noise* yang dapat mempengaruhi hasil data pengukuran. Jadi pengukuran dilakukan dari titik dimana *noise* paling kecil. Sehingga data yang didapat lebih baik dan akurat. Berikut ini beberapa hal yang perlu diperhatikan saat melakukan pengukuran:

- Penentuan gain semaksimal mungkin untuk menghindari adanya sinyal yang tersaturasi. *Gain* pada semua komponen harus dipastikan dalam kondisi yang sama.
- Menghindari efek aliasing dengan penentuan frekuensi pencuplikan tidak terlalu kecil. Frekuensi pencuplikan yang digunakan minimal empat kali lebih besar dari frekuensi maksimal yang terkandung dalam sinyal seismik.
- Durasi rekaman harus memenuhi kriteria seperti pada tabel 3.2. Pada tabel tersebut dijelaskan berapa saja nilai minimum untuk panjang window, durasi sinyal minimum, durasi perekaman minimum berdasarkan nilai frekuensi natural tertentu.

Tabel 3.2 Durasi Rekaman (SESAME, 2004)

f_0 (Hz)	Minimum value for l_w [s]	Minimum number of significant cycles (n_c)	Minimum number of windows	Minimum useful signal duration [s]	Recommended minimum record duration [min]
0,2	50	200	10	1000	30'
0,5	20	200	10	400	20'
1	10	200	10	200	10'
2	5	200	10	100	5'
5	5	200	10	40	3'
10	5	200	10	20	2'

- Pastikan sensor dalam keadaan stabil sebelum dilakukan pengukuran dengan *levelling bubble*. Untuk mengatur bubble dapat dilakukan dengan memutar sekrup pada kaki sensor.

- Sensor langsung diletakkan di tanah untuk mendapatkan kopling yang baik. Hindari pengukuran pada tanah lunak, misalnya daerah berlumpur, rawa, atau pada daerah jenuh air setelah hujan deras.
- Hindari pengukuran di dekat struktur yang besar, seperti gedung dan pohon karena dapat menimbulkan *low frekuensi noise* akibat adanya angin yang mengenai struktur tersebut.
- Hindari pengukuran saat angin yang cukup kencang dan hujan deras. Saat hujan ringan masih bisa dilakukan tetapi harus diperhatikan peralatan yang tidak tahan air harus dilindungi. Serta meminimalisir gangguan lokal seperti langkah kaki ataupun kendaraan yang lewat.

d. Pengolahan Data

Setelah diperoleh data mikrotremor dari lapangan maka dilakukan pengolahan data. Pengolahan ini bertujuan untuk mendapatkan rasio *spectrum horizontal to vertical* (H/V) yang kemudian akan dilakukan analisis dan perhitungan sampai diperoleh ketebalan lapisan sedimennya. Pengolahan data dilakukan menggunakan *software EasyHVSr*. Data mentah yang diperoleh dari pengukuran lapangan berupa tiga komponen sinyal dalam fungsi waktu. Kemudian ketiga sinyal tersebut dilakukan proses *picking* yang bertujuan untuk memilih data atau untuk menghilangkan noise yang terekam. Setelah itu dilakukan transformasi fourier (FFT) pada masing-masing komponen sinyal yang telah di *picking*. Dalam analisis HVSr digunakan minimal 10 *window* stasioner antara 20-50 detik *non-overlapping* (Sesame, 2004). Pada setiap *window* dilakukan analisis spektrum fourier untuk mengubah domain waktu pada data mikrotremor awal menjadi domain frekuensi.

Kemudian dilakukan proses *smoothing* atau *filtering*. *Smoothing* dilakukan karena hasil dari proses FFT masih berupa komponen yang belum halus. Maka digunakan filter *smoothing* Konno dan Ohmachi dengan koefisien *bandwidth* 40 dan *cosine taper* 5%. Setelah proses *smoothing* selesai maka dilakukan penggabungan komponen horizontal dan vertikal ke dalam analisis HVSr dengan persamaan (2.6). Selanjutnya rata-rata spektrum HVSr diplot untuk setiap titik pengukuran setelah diperoleh spektrum HVSr masing-masing *window*. Dari analisis HVSr akan diperoleh kurva H/V yang menunjukkan nilai frekuensi natural (f) dan amplifikasi (A). Kemudian dari nilai frekuensi natural dan nilai N-SPT dapat dihitung ketebalan lapisan sedimen. N-SPT diperoleh dari hasil data bor yang dilakukan di Desa Olak Alen.

3.4 Timeline Pengerjaan

Berdasarkan alur pengerjaan tugas akhir pada gambar 3.4 maka disusun rincian kegiatan yang akan dilakukan dari awal sampai tugas akhir selesai. Mulai dari tahap awal dilakukan pembobotan setiap pekerjaan yang akan dikerjakan

pada setiap minggunya. Dari rincian kegiatan tersebut dibuat kurva s yang menggambarkan presentasi progres kemajuan setiap minggunya.

Sehingga pada kurva s tersebut ditampilkan rencana pengerjaan dari minggu pertama hingga minggu terakhir pengumpulan tugas akhir. Selain rencana juga ditampilkan realisasi dari yang dikerjakan setiap minggunya. Jadi dengan adanya kurva s ini, penulis dapat mengontrol progress pengerjaan tugas akhir dengan cukup baik hingga selesai. Kurva s pengerjaan tugas akhir ini dapat dilihat pada gambar 3.5. Pada gambar 3.5 tersebut garis biru pada grafik menunjukkan rencana dan garis orange menunjukkan realisasi pengerjaan yang dilakukan penulis.

No.	Kegiatan	Output	Februari			Maret			April			Mei			Summary
			1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1
1	Studi Literatur	Uraian Berakang [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%		3,0%
		Rumusan Masalah [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%		3,0%
		Tujuan [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%		3,0%
		Batasan Masalah [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%		3,0%
		Manfaat [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%		3,0%
	BAB II (13%)	Metode RYSR [4%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	4,0%
		Indeks Kerentanan Tanah [4%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	4,0%
		Mikrozona [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	4,0%
		Transformasi Fourier [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	4,0%
		Peralatan dan Bahan [3%]	1,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	4,0%
2	BAB III (20%)	Waktu dan Lokasi Penelitian [5%]	2,0%	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	3,0%
		Tahapan dan Alur Penelitian [12%]	2,0%	0,1%	0,1%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	0,1%	0,1%	12,0%
		Data [5%]			0,5%	0,5%	3,0%								5,0%
		Pemertuaan [4%]				0,5%			0,5%	0,5%	0,5%				4,0%
		Pengolahan data [7%]				1,0%	1,0%	1,0%	1,0%	0,9%	0,9%	0,5%	0,5%		7,0%
3	BAB IV (30%)	Analisa Data [7%]							1,0%	1,0%	1,0%	1,5%	1,0%	1,0%	7,0%
		Pembahasan [7%]							1,0%	1,0%	1,0%	2,0%	1,0%	1,0%	7,0%
		Kesimpulan [5%]							0,5%	0,5%	0,5%	1,0%	1,0%	1,0%	5,0%
		Saran [5%]							0,5%	0,5%	0,5%	1,0%	1,0%	1,0%	5,0%
		Rencana Tindak Lanjut [5%]							0,5%	0,5%	0,5%	1,0%	1,0%	1,0%	5,0%
4	BAB V (15%)	Penyusunan Paper [3%]										1,0%	0,5%	0,5%	3,0%
		Publikasi Paper [2%]												1%	2%
5	Paper 5%														
	Total	100%	14,0%	1,2%	1,7%	3,7%	3,7%	6,2%	5,4%	5,9%	8,6%	10,2%	6,8%	7,3%	100,0%
		Akumulasi Rencana	14,0%	15,2%	16,9%	20,6%	24,3%	30,5%	35,9%	40,2%	45,1%	50,5%	58,7%	64,6%	73,2%
	Akumulasi Realisasi		13,00%	15%	16%	21%	25%	32%	34%	38%	44%	48%	55%	65%	75%

Gambar 3.5 Timeline pengerjaan dan Kurva S

3.5 Kurva Keuangan

Pada penelitian tugas akhir ini dibutuhkan biaya untuk melakukan beberapa kegiatan terutama saat pengambilan data di lapangan. Biaya tersebut tidak dikeluarkan dalam satu hari semua melainkan beberapa hari sesuai dengan kebutuhan pada saat tersebut. Oleh karena itu, dibuat kurva untuk mengetahui besarnya kebutuhan atau biaya yang dibutuhkan per harinya seperti pada gambar 3.6 berikut:

No	Kegiatan	Qty	Harga	Jumlah	Tanggal	Akumulasi
1	Sewa Alat	1	500000	Rp 500.000,00	12/03/2017	Rp 500.000,00
2	Transport	1	200000	Rp 200.000,00	13/03/2017	Rp 700.000,00
3	Konsumsi	5	150000	Rp 750.000,00	15/03/2017	Rp 1.450.000,00
4	Penginapan	5	100000	Rp 500.000,00	15/03/2017	Rp 1.950.000,00
5	Alat dan Bahan	1	100000	Rp 100.000,00	16/03/2017	Rp 2.050.000,00
Total						Rp 2.050.000,00

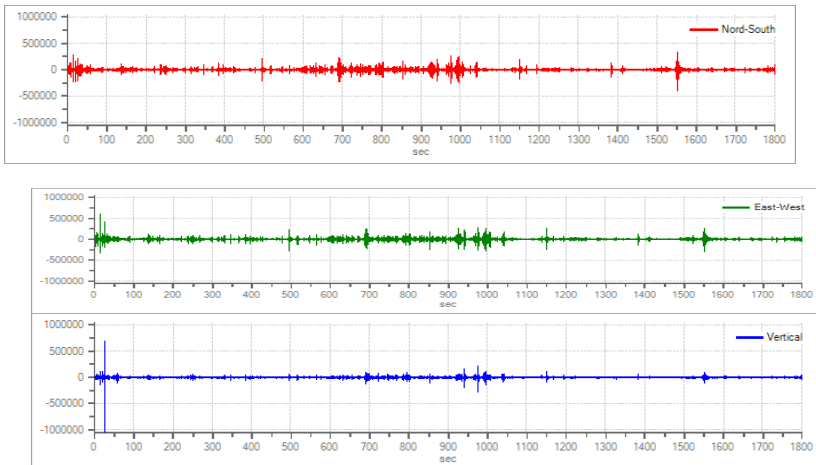
Gambar 3.6 Kurva keuangan

BAB IV

ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Data

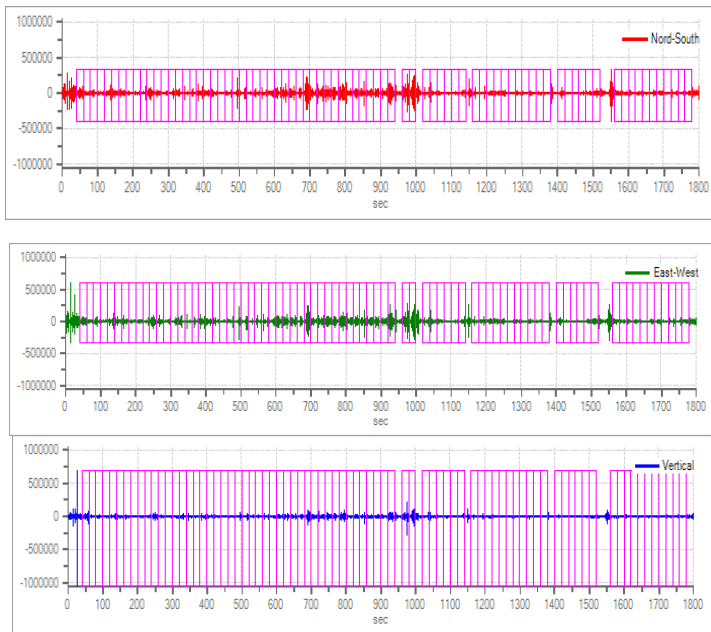
Setelah diperoleh data mikrotremor dari lapangan maka dilakukan pengolahan data. Pengolahan ini bertujuan untuk mendapatkan rasio spectrum *horizontal to vertical* (H/V) yang kemudian akan dilakukan analisis dan perhitungan sampai diperoleh nilai ketebalan lapisan sedimennya. Pengolahan data dilakukan menggunakan software *EasyHVSr*. Data mentah yang diperoleh dari pengukuran lapangan berupa tiga komponen sinyal dalam fungsi waktu. Berikut ini merupakan tampilan salah satu data mentah hasil akuisisi data yang akan dianalisis menggunakan software *EasyHVSr*:



Gambar 4.1 Data awal pengukuran mikrotremor TP 2

Gambar 4.1 di atas merupakan data hasil akuisisi lapangan. Data mikrotremor tersebut direkam dengan durasi 30 menit. Pada gambar ditampilkan tiga komponen seismogram, yang paling bawah adalah komponen vertikal (Z), kemudian komponen horizontal EW (*East West*), lalu komponen horizontal NS (*North South*) paling atas. Pada gambar 4.1 tersebut masih terlihat banyak *window* yang mengandung gelombang permukaan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya dari aktivitas getaran diri antar partikel di dalam tanah sendiri, melainkan juga adanya aktivitas manusia (*noise anthropogenic*). Oleh karena itu dilakukan *windowing* untuk memilih *window* yang memiliki

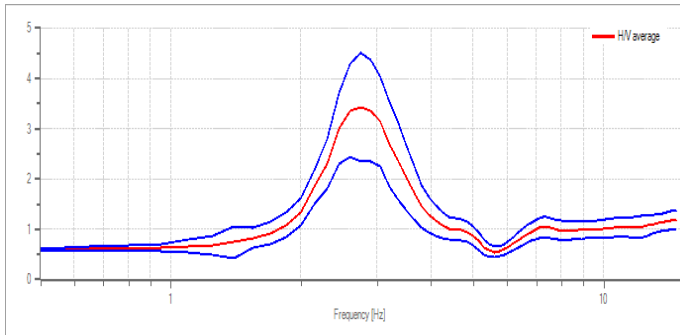
sinyal stasioner atau konstan dan tidak memilih yang mengandung gelombang permukaan. Proses *windowing* dapat ditunjukkan seperti pada gambar 4.2 di bawah:



Gambar 4.2 Windowing pada TP 2

Setelah itu dilakukan transformasi fourier (FFT) pada masing-masing komponen sinyal yang telah di picking. Dalam analisis HVSR digunakan minimal 10 window stasioner antara 20-50 detik *non-overlapping* (SESAME, 2004). Pada setiap window dilakukan analisis spektrum fourier untuk mengubah domain waktu pada data mikrotremor awal menjadi domain frekuensi. Kemudian dilakukan proses *smoothing* atau *filtering*. *Smoothing* dilakukan karena hasil dari proses FFT masih berupa komponen yang belum halus. Maka digunakan filter *smoothing* Konno dan Ohmachi dengan koefisien *bandwith* 40 dan *cosine taper* 5%. Setelah proses *smoothing* selesai maka dilakukan penggabungan komponen horizontal dan vertikal ke dalam analisis HVSR dengan persamaan 4.

Selanjutnya rata-rata spektrum HVSR diplot untuk setiap titik pengukuran setelah diperoleh spektrum HVSR masing-masing *window*. Dari analisis HVSR akan diperoleh kurva H/V yang menunjukkan nilai frekuensi natural (f) dan amplifikasi (A) seperti gambar 4.3 berikut:



Gambar 4.3 Kurva HVSR TP 2

Hasil pengolahan data mikrotremor dengan metode HVSR ini bersifat subjektif, oleh karena itu untuk menentukan apakah kurva H/V tersebut sudah baik dan dapat benar benar diakui keakuratannya maka digunakan kriteria yang telah ditetapkan oleh *SESAME European Research Project* seperti pada tabel 4.1 di bawah. Pada kolom yang pertama dari tiga kriteria yang ada harus memenuhi semuanya maka kurvanya dianggap *reliable*. Sementara pada kolom yang kedua terdapat 6 kriteria yang ditetapkan akan tetapi apabila sudah memenuhi minimal 5 kriteria maka dianggap sudah memenuhi.

Tabel 4.1 Kriteria Kurva H/V oleh *SESAME European Research Project*

No	Criteria for a reliable H/V Curve	Criteria for a Clear H/V Peak
i	$f_0 > \frac{10}{l_w}$	$\exists f^- \in \left[\frac{f_0}{4}, f_0\right] \mid A_{\frac{H}{V}}(f^-) < \frac{A_0}{2}$
ii	$n_c(f_0) > 200$	$\exists f^+ \in [f_0, 4f_0] \mid A_{\frac{H}{V}}(f^+) < \frac{A_0}{2}$
iii	$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$	$A_0 > 2$
iv		$f_{peak} \left[A_{\frac{H}{V}}(f) \pm \sigma_A(f) \right] = f_0 \pm 5\%$
v		$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
vi		$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

Keterangan :

l_w = Panjang Window

n_w = Jumlah window yang dipilih untuk rata-rata kurva H/V

$n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = Number of significant cycles

f_0 = Frekuensi natural (H/V peak frequency)

σ_f = Standard deviasi puncak frekuensi H/V ($f_0 \pm \sigma_f$)

$\varepsilon (f_0)$ = threshold value for the stability condition ($\sigma_f < \varepsilon (f_0)$)

A_0 = Amplifikasi

$A_{\overline{V}}(f)$ = Amplitudo kurva H/V pada frekuensi f

$\sigma_A(f_0)$ = Standard deviasi dari $A_{\overline{V}}(f)$

$\theta (f_0)$ = Threshold value for the stability condition ($\sigma_A(f) < \theta (f_0)$)

Dari hasil koreksi yang telah dilakukan pada semua titik pengukuran diperoleh bahwa pada beberapa titik pengukuran terdapat kriteria yang tidak terpenuhi.

Tabel 4.2 Titik Pengukuran Tidak Memenuhi Kriteria Kurva Reliabel

No	Kriteria Tidak Terpenuhi	Titik Pengukuran	Keterangan
1	<i>Clear H/V Peak</i> (i)	TP 26	Tidak memenuhi karena nilai frekuensi antara $\frac{f_0}{4}$ dan f_0 untuk nilai amplifikasinya tidak lebih kecil dari 2
2	<i>Clear H/V Peak</i> (iii)	TP 4 TP 9 TP 11 TP 14 TP 16 TP 17 TP 20 TP 25	Tidak memenuhi karena nilai amplifikasi pada titik pengukuran tersebut lebih kecil dari 2
3	<i>Clear H/V Peak</i> (iv)	TP 13 TP 24	Tidak Memenuhi karena nilai frekuensi puncak tidak sama dengan $f_0 \pm 5\%$
4	<i>Clear H/V Peak</i> (v)	TP 13	Tidak memenuhi karena nilai standard deviasi dari frekuensi frekuensi H/V lebih besar dari nilai thresholdnya.

Seperti yang telah dijelaskan pada tabel 4.1, tabel 4.2 ini merupakan hasil rekapitulasi beberapa titik pengukuran yang hasil pengolahan datanya tidak memenuhi salah satu kriteria kurva reliabel yang telah ditetapkan oleh SESAME. Terdapat setidaknya 9 titik pengukuran yang tidak memenuhi salah satu kriteria yang telah ditetapkan. Akan tetapi, dari kriteria yang ditetapkan oleh SESAME tersebut apabila memenuhi 5 dari 6 maka kurva tersebut dianggap telah reliabel.

Pada TP 2 tersebut didapat nilai frekuensi natural 2.75 dan nilai amplifikasi 3.42. Kemudian dari nilai frekuensi natural tersebut dengan nilai N-SPT dari data bor dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai ketebalan sedimen. Pertama dihitung nilai V_s menggunakan persamaan (2.3) sebagai berikut:

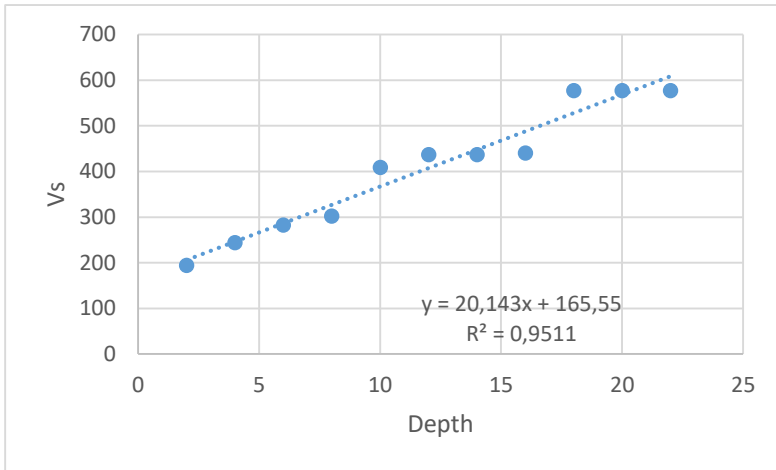
$$V_s = 86,0N^{0,42} \frac{m}{s}$$

Maka diperoleh nilai V_s untuk setiap kedalaman berdasarkan lubang bor 2 dengan nilai V_s rata-rata 407,2684 m/s. Kemudian dihitung nilai exponential factor (X) dengan persamaan (2.4) maka diperoleh hasil seperti pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai V_s dan Exponential factor (X)

Depth	N	V_s	X
2	7	194,733	0,147783
4	12	244,205	0,241535
6	17	282,6747	0,274948
8	20	302,6433	0,274565
10	41	409,136	0,37732
12	48	437,1392	0,378557
14	48	437,1392	0,358553
16	49	440,9413	0,345769
18	93	577,1136	0,42411
20	93	577,1136	0,410168
22	93	577,1136	0,398268

Berdasarkan nilai V_s dan kedalaman pada tabel 4.3 maka dapat dilihat hubungan antara V_s terhadap kedalaman seperti pada gambar 4.4. dapat dilihat melalui hasil regresi linearnya bahwa nilai kecepatan gelombang geser (V_s) akan semakin meningkat seiring bertambahnya kedalaman.



Gambar 4.4 Hubungan Vs terhadap kedalaman

Kemudian nilai V_0 diperoleh dari hasil regresi linear kecepatan gelombang geser dengan kedalaman yaitu 165,55. Maka dapat dihitung nilai ketebalan lapisan sedimen atau kedalaman bedrock dengan persamaan (2.5). Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai m pada TP 2 adalah 110,15 meter. Hal ini menunjukkan bahwa pada TP 2 ketebalan lapisan sedimen atau kedalaman bedrocknya diestimasi berada pada kedalaman 110,15 meter.

4.2 Pembahasan

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini adalah ketebalan lapisan sedimen di Desa Olak Alen. Dalam penelitian ini pengolahan data mikrotremor menggunakan metode HVSR yang menghasilkan kurva H/V. Konno dan Ohmachi (1998) berpendapat bahwa kurva H/V dibentuk dari gelombang sekunder, namun efek gelombang Rayleigh yang besar dapat mempengaruhi bentuk dari kurva H/V sehingga merupakan *noise* yang harus dihilangkan. Kurva H/V menghasilkan nilai frekuensi natural (f_0) dan faktor amplifikasi (A). Kemudian dari nilai frekuensi natural dan N-SPT dapat dihitung ketebalan lapisan sedimennya.

4.2.1 Faktor Amplifikasi

Hasil pengolahan data mikrotremor lainnya berupa nilai faktor amplifikasi (Am). Tabel 4.4 merupakan hasil rekapitulasi nilai amplifikasi setiap titik pengukuran mikrotremor di Desa Olak Alen.

Tabel 4.4 Nilai faktor amplifikasi titik pengukuran mikrotremor

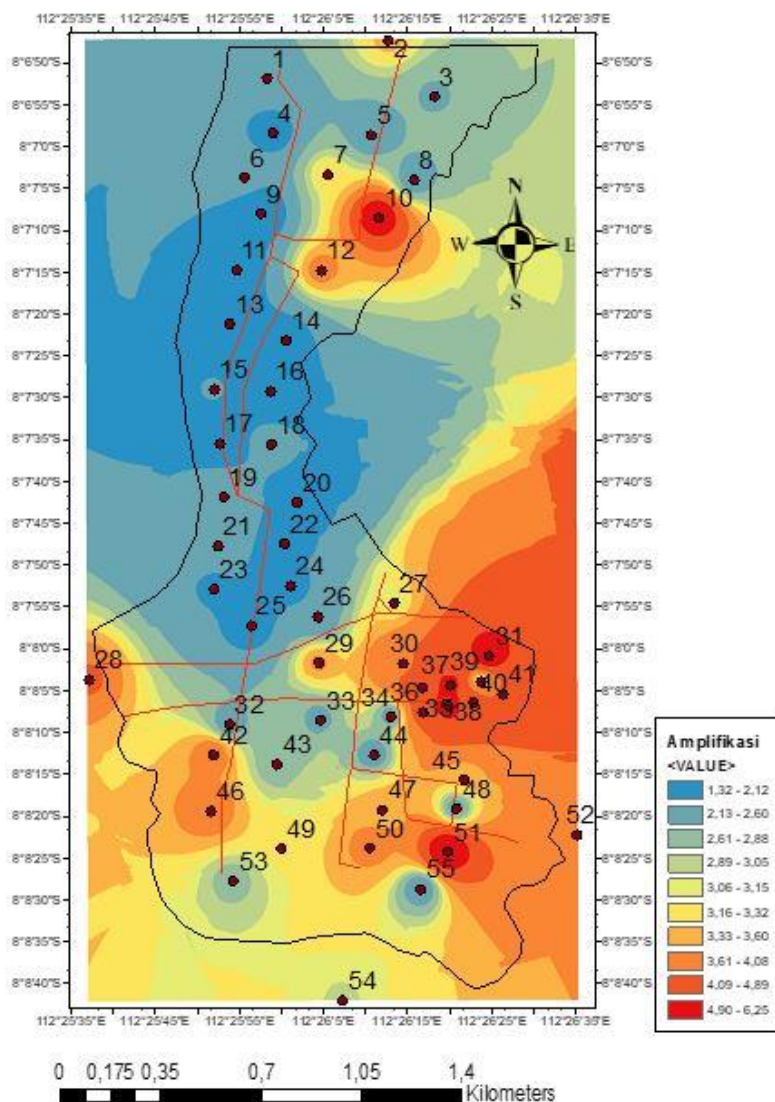
Nama Titik	Amplifikasi (Ao)	Nama Titik	Amplifikasi (Ao)
TP 1	2,5	TP 29	3,73
TP 2	3,42	TP 30	3,99
TP 3	2,55	TP 31	5,9
TP 4	1,76	TP 32	2,32
TP 5	2,2	TP 33	2,43
TP 6	2,51	TP 34	2,31
TP 7	3,3	TP 35	4,74
TP 8	2,27	TP 36	4,38
TP 9	1,32	TP 37	5,22
TP 10	5,9	TP 38	5,72
TP 11	1,63	TP 39	2,95
TP 12	3,86	TP 40	4,35
TP 13	1,75	TP 41	4,11
TP 14	1,8	TP 42	4,05
TP 15	2,16	TP 43	2,62
TP 16	1,71	TP 44	2,18
TP 17	1,82	TP 45	3,36
TP 18	2,32	TP 46	4,11
TP 19	2,63	TP 47	3,54
TP 20	1,84	TP 48	2,37
TP 21	2,24	TP 49	3,2
TP 22	2,01	TP 50	3,84
TP 23	2,06	TP 51	6,25
TP 24	1,91	TP 52	3,71
TP 25	1,73	TP 53	2,73
TP 26	2,13	TP 54	3,03
TP 27	3,04	TP 55	2,14
TP 28	4,23		

Faktor amplifikasi dipengaruhi oleh kecepatan gelombang, apabila kecepatan gelombang semakin kecil maka faktor amplifikasi semakin besar, hal ini menunjukkan bahwa faktor amplifikasi berhubungan dengan tingkat kepadatan batuan, dimana berkurangnya kepadatan batuan akan meningkatkan nilai faktor amplifikasi. Hal ini disebabkan oleh sedimen lunak yang memperlambat durasi gelombang yang menjalar di daerah tersebut, sehingga terjadi guncangan terhadap bangunan, begitu juga sebaliknya (Hartati, 2014). Nilai amplifikasi di Desa Olak Alen adalah 1,3 – 6,2. Dari nilai tersebut kemudian dibuat peta persebaran nilai faktor amplifikasi seperti pada gambar 4.5

Pada gambar 4.5 menunjukkan bahwa semakin merah berarti nilai amplifikasi semakin tinggi sementara pada warna yang semakin biru muda menunjukkan bahwa nilai amplifikasi yang semakin rendah. Dapat dilihat bahwa nilai amplifikasi paling tinggi berada di sekitar wilayah titik pengukuran 31, 37, 38, dan 51. Dari persebaran nilai tersebut maka dapat diklasifikasikan berdasarkan (Setiawan, 2009) pada tabel 4.5.

Tabel 4.5 Klasifikasi Nilai Amplifikasi Desa Olak Alen

Zona	Klasifikasi	Nilai Faktor Amplifikasi	Lokasi
1	Rendah	$A < 3$	TP 1 – TP 6 TP 8 – TP 9 TP 11 TP 13 – TP 26 TP 43 – TP 44 TP 53 TP 55
2	Sedang	$3 \leq A < 6$	TP 7 TP 10 TP 12 TP 27 – TP 42 TP 45 – TP 50 TP 52 TP 54
3	Tinggi	$6 \leq A < 9$	TP 51
4	Sangat Tinggi	$A \geq 9$	-



Gambar 4.5 Peta Persebaran Nilai Amplifikasi Desa Olak Alen

Pada tabel 4.5 tersebut dibedakan daerah mana saja yang termasuk zona dengan nilai amplifikasi rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi. Dapat dilihat bahwa secara umum daerah Desa Olak Alen memiliki nilai amplifikasi yang rendah dan tidak ada satu tempatpun yang memiliki nilai amplifikasi sangat tinggi. Besaran amplifikasi dapat diestimasi dari kontras parameter perambatan gelombang (densitas dan kecepatan) pada *bedrock* dan sedimen permukaan. Semakin besar perbedaan parameter tersebut, semakin besar pula nilai amplifikasi perambatan gelombangnya (Gosar, 2007). Nilai amplifikasi dipengaruhi oleh variasi formasi geologi, ketebalan dan sifat-sifat fisika lapisan tanah dan batuan, seperti batuan mengalami deformasi (pelapukan, pelipatan, dan pergeseran) yang mengubah sifat fisik batuan.

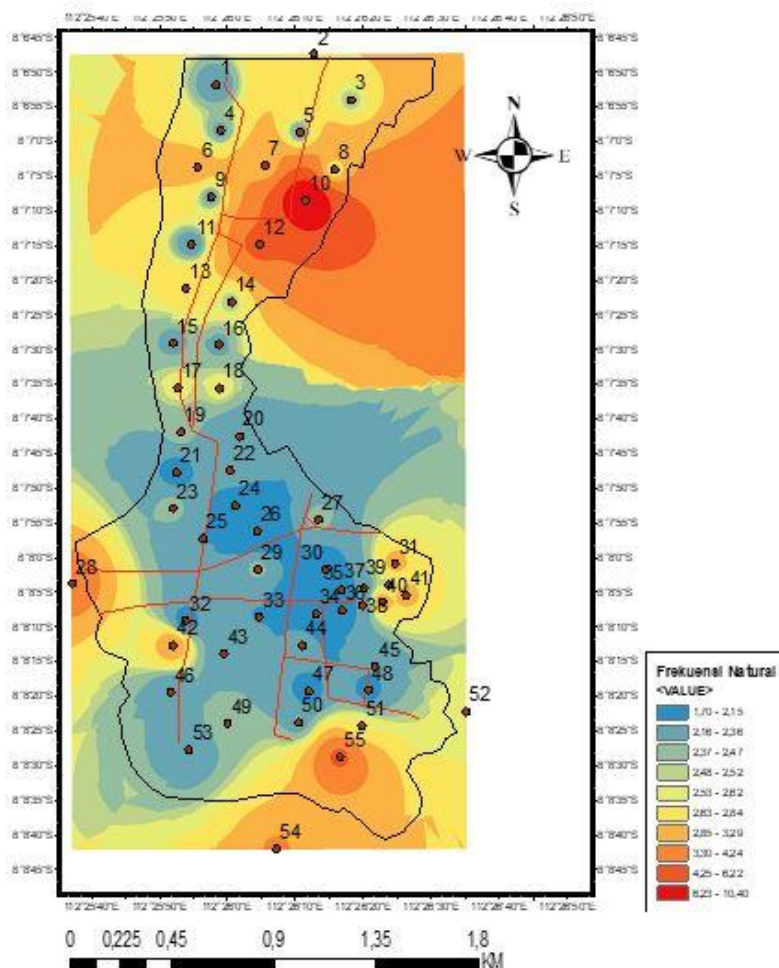
Pada batuan yang sama nilai amplifikasi dapat bervariasi sesuai dengan tingkat deformasi dan pelapukan pada tubuh batuan tersebut. Apabila dilihat dari peta geologi desa olak alen berada pada formasi geologi yang sama yaitu endapan gunung api butak (Sjarifuddin dan Hamidi, 1992). Dengan demikian batuan dasar di Desa Olak Alen adalah sama. Hanya yang membedakannya hingga adanya perubahan nilai amplifikasi tersebut adalah tingkat deformasi dan pelapukan batuan. Pada daerah dengan tingkat deformasi lebih tinggi akan memiliki nilai amplifikasi yang lebih tinggi juga.

4.2.2 Frekuensi Natural

Frekuensi natural berkaitan erat dengan lapisan Frekuensi natural (f_0) Desa Olak Alen diperoleh dari sumbu horizontal puncak kurva H/V. Tabel 4.6 merupakan hasil rekapitulasi nilai frekuensi natural titik pengukuran mikrotremor Desa Olak Alen. Dari nilai frekuensi natural (f_0) di setiap titik pengukuran dapat dibuat peta persebaran nilai frekuensi natural seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6. Dapat dilihat bahwa warna yang semakin merah menunjukkan bahwa nilai frekuensi natural yang semakin besar. Sementara semakin biru muda berarti nilai frekuensi natural semakin kecil. Sementara garis merah menandakan jalan desa. Garis hitam merupakan batas wilayah Desa Olak Alen.

Tabel 4.6 Nilai frekuensi natural titik pengukuran mikrotremor

Nama Titik	Frekuensi Natural (fo)	Nama Titik	Frekuensi Natural (fo)
TP 1	2,15	TP 29	2,45
TP 2	2,75	TP 30	1,85
TP 3	2,45	TP 31	3,05
TP 4	2,3	TP 32	2
TP 5	2,3	TP 33	2,15
TP 6	3,05	TP 34	1,85
TP 7	2,9	TP 35	1,85
TP 8	2,6	TP 36	1,85
TP 9	2,3	TP 37	2,15
TP 10	10,4	TP 38	2,15
TP 11	2,15	TP 39	2,45
TP 12	4,7	TP 40	3,2
TP 13	2,75	TP 41	3,05
TP 14	2,45	TP 42	3,2
TP 15	2,3	TP 43	2,3
TP 16	2,3	TP 44	2,3
TP 17	2,6	TP 45	2,15
TP 18	2,6	TP 46	2,15
TP 19	2,45	TP 47	2
TP 20	2,15	TP 48	2
TP 21	2	TP 49	2,45
TP 22	2,3	TP 50	2,3
TP 23	2,45	TP 51	2,6
TP 24	2	TP 52	2,6
TP 25	2,15	TP 53	2,15
TP 26	1,7	TP 54	3,35
TP 27	2,45	TP 55	4,55
TP 28	3,95		



Gambar 4.6 Peta Persebaran Nilai Frekuensi Natural Desa Olak Alen

Nilai frekuensi natural di Desa Olak Alen adalah 1,70 – 10,39. Maka dapat diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Kanai sebagai berikut:

Tabel 4.7 Klasifikasi Nilai Frekuensi Natural Desa Olak Alen

Klasifikasi Tanah	Frekuensi (Hz)	Lokasi	Klasifikasi Kanai	Deskripsi
Tipe IV	6,6 - 20	-	-	-
Tipe III	4 - 10	TP 10 TP 12	Batuan alluvial, dengan ketebalan 5m.	Ketebalan sedimen permukaannya masuk dalam kategori menengah 5 – 10 meter
Tipe II	2,5 – 4	TP 2 – TP 9 TP 11 TP 13 TP 14 TP 17 TP 18 TP 28 TP 31 TP 39 – TP 42 TP 54 – TP 55	Batuan alluvial, dengan ketebalan >5m.	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam kategori tebal, sekitar 10 – 30 meter
Tipe I	< 2,5	TP 1 TP 15 – TP 16 TP 19 – TP 27 TP 21 – TP 30 TP 32 – TP 38 TP 43 – TP 53	Batuan alluvial, yang terbentuk dari sedimentasi delta, top soil, lumpur, dll.	Ketebalan sedimen permukaannya sangatlah tebal > 30 meter

Nilai dari frekuensi dikontrol oleh topografi yang erat hubungannya dengan kedalaman *bedrock* atau ketebalan dari nilai lapisan sedimen (Gazalli,

2017). Dengan demikian dapat dilihat bahwa Desa Olak Alen didominasi oleh klasifikasi tanah tipe I yang berarti bahwa ketebalan sedimen permukaan di Desa Olak Alen sangat tebal > 30 meter. Hal ini didukung oleh hasil pengambilan data bor pada 2 titik di desa olak alen hingga kedalaman 30 meter dan 22 meter yang berupa pasir kelanauan. Dilihat dari peta geologi Desa Olak Alen hampir seluruhnya berada pada formasi QPKB yang merupakan Endapan Gunung Api Butak berupa lava, breksi gunung api, tuff pasiran, dan tuff breksi (Sjarifuddin dan Hamidi, 1992).

4.2.3 Ketebalan Sedimen

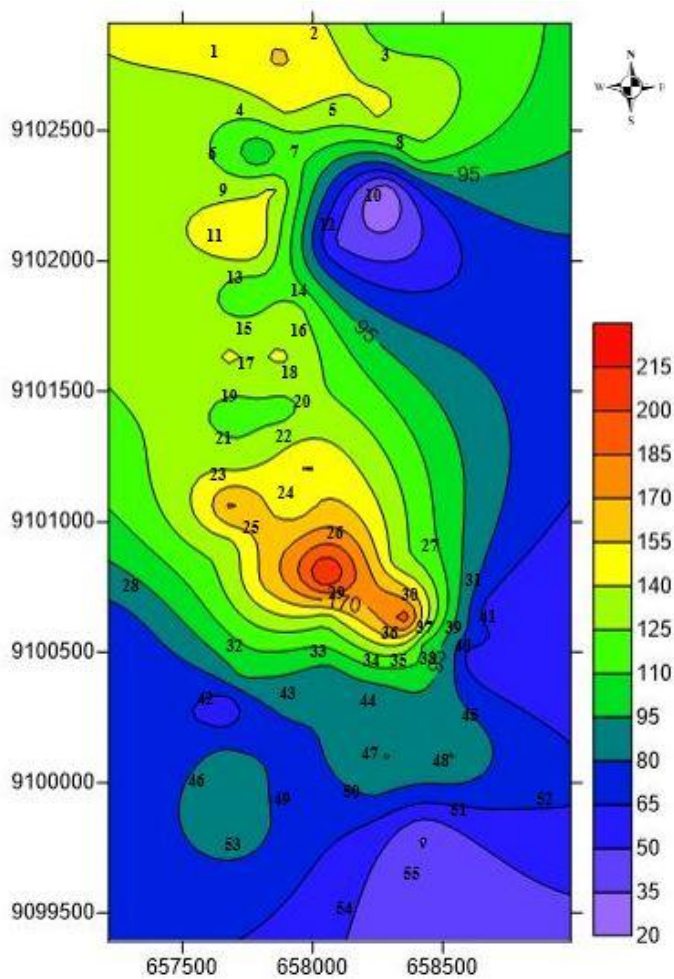
Ketebalan lapisan sedimen diperoleh melalui perhitungan pada persamaan 2.5. Ketebalan lapisan sedimen Desa Olak Alen yang diperoleh dari hasil penelitian berkisar antara 17,03 – 221,39 meter. Hasil rekapitulasi perhitungan ketebalan lapisan sedimen Desa Olak Alen dapat dilihat pada tabel 4.8. Kemudian dari nilai ketebalan sedimen pada tabel 4.8 dibuat peta kontur untuk mempermudah analisis persebaran nilainya seperti pada gambar 4.7. Dapat dilihat bahwa pada daerah tengah menuju utara desa olak alen nilai ketebalan sedimennya lebih tebal apabila dibandingkan dengan sebelah timur dan selatan.

Ketebalan sedimen apabila dikorelasikan dengan peta persebaran nilai frekuensi natural pada gambar 4.6 dapat diketahui hubungan kedua parameter ini. Berdasarkan nilai frekuensi natural yang telah diklasifikasikan berdasarkan klasifikasi Kanai diketahui bahwa Desa Olak Alen terdapat pada daerah yang sebagian besar dengan klasifikasi tanah tipe 1. Hal ini bersesuaian dengan ketebalan sedimen yang diperoleh dari hasil penelitian yaitu > 30 meter. Selain itu berdasarkan data bor yang dilakukan di 2 titik Desa Olak Alen sampai pada kedalaman 30 meter diperoleh hasil berupa pasir kelanauan (lapisan sedimen).

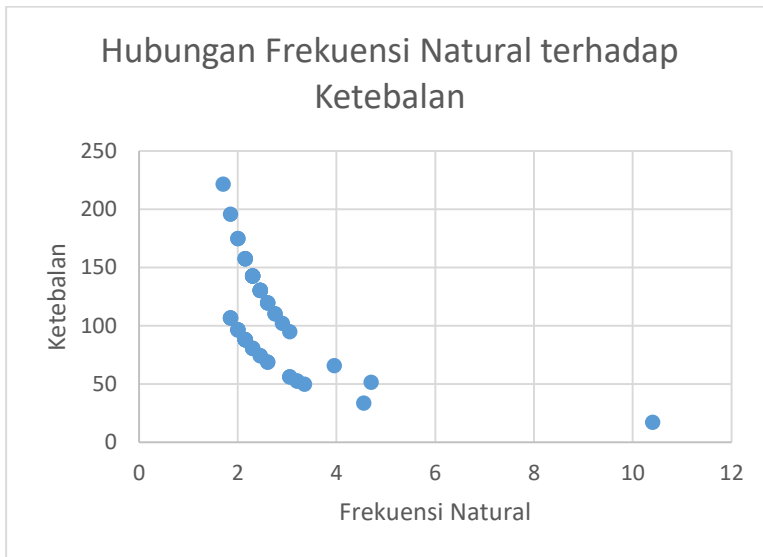
Mucciarelli melalui persamaannya pada persamaan 2.2 menyatakan bahwa ketebalan lapisan sedimen berbanding terbalik dengan dengan nilai frekuensi natural pada suatu lokasi. Hal tersebut kemudian dibuktikan melalui nilai frekuensi natural dan ketebalan lapisan sedimen yang diperoleh dari penelitian ini. Dapat dilihat hubungan antara frekuensi natural dan ketebalan lapisan sedimen seperti pada gambar 4.8. pada gambar 4.8 tersebut dapat dilihat bahwa semakin tebal lapisan sedimen pada suatu lokasi maka nilai frekuensi naturalnya akan semakin kecil.

Tabel 4.8 Ketebalan Lapisan Sedimen Desa Olak Alen

Nama Titik	Ketebalan (m)	Nama Titik	Ketebalan (m)
TP 1	157,28	TP 29	130,15
TP 2	110,15	TP 30	195,71
TP 3	130,15	TP 31	55,91
TP 4	142,62	TP 32	96,38
TP 5	142,62	TP 33	87,76
TP 6	94,89	TP 34	106,64
TP 7	102,03	TP 35	106,64
TP 8	119,44	TP 36	106,64
TP 9	142,62	TP 37	87,76
TP 10	17,03	TP 38	87,76
TP 11	157,28	TP 39	74,13
TP 12	51,21	TP 40	52,57
TP 13	110,15	TP 41	55,91
TP 14	130,15	TP 42	52,57
TP 15	142,62	TP 43	80,43
TP 16	142,62	TP 44	80,43
TP 17	119,44	TP 45	87,76
TP 18	119,44	TP 46	87,76
TP 19	130,15	TP 47	96,38
TP 20	157,28	TP 48	96,38
TP 21	174,71	TP 49	74,13
TP 22	142,62	TP 50	80,43
TP 23	130,15	TP 51	68,66
TP 24	174,71	TP 52	68,66
TP 25	157,28	TP 53	87,76
TP 26	221,39	TP 54	49,57
TP 27	130,15	TP 55	33,54
TP 28	65,54		



Gambar 4.7 Peta Kontur Ketebalan Lapisan Sedimen



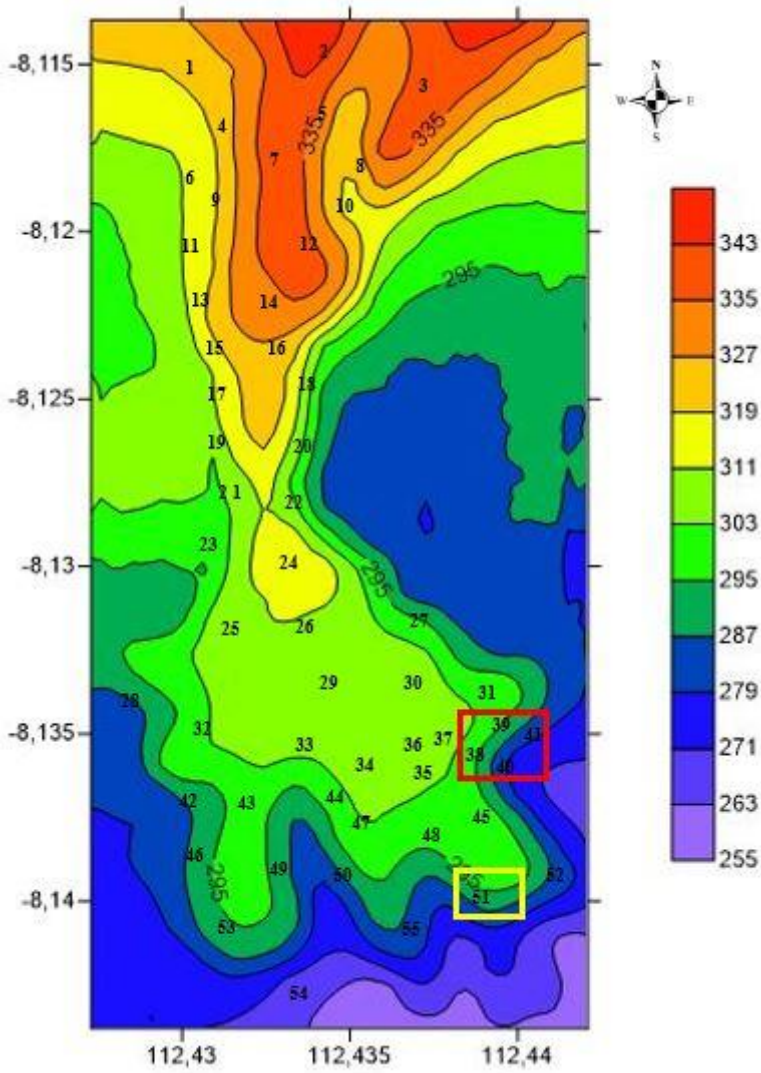
Gambar 4.8 Hubungan Frekuensi Natural terhadap Ketebalan Lapisan Sedimen

4.2.4 Analisis Longsor

Longsor yang terjadi di Desa Olak Alen pada bulan Desember 2016 berada di sekitar titik pengukuran 38 – titik pengukuran 41. Berdasarkan nilai ketebalan sedimennya dapat dilihat pada daerah tersebut berada pada nilai sekitar 52-87 meter. Alhasanah,2006 menyatakan bahwa tanah longsor identik dengan kondisi kemiringan lereng. Dengan kata lain longsor akan terjadi pada daerah dengan elevasi yang lebih tinggi dengan arah longsor ke daerah yang memiliki elevasi yang lebih rendah. Oleh karena itu dibuat peta kontur elevasi desa olak alen seperti pada gambar 4.9.

Daerah longsor ditandai dengan kotak merah pada gambar 4.9. arah pergerakan tanah adalah ke arah tenggara. Hal ini sesuai dengan kondisi topografi yang semakin rendah ke arah tenggara. Selain itu pada daerah longsor ini juga diperoleh nilai amplifikasi yang cukup tinggi. Berdasarkan klasifikasi oleh Setiawan, 2009 nilai amplifikasi di TP 38-41 termasuk ke dalam kategori sedang. Sehingga dapat disimpulkan bahwa daerah yang rawan terhadap adanya potensi gerakan tanah adalah daerah yang memiliki lapisan sedimen yang tebal (>30 meter) dengan kemiringan lereng yang tinggi serta berasosiasi dengan nilai

amplifikasi sedang-tinggi. Berdasarkan analisis tersebut maka diprediksi di daerah TP 51 yang ditandai dengan kotak kuning pada gambar 4.9 memiliki potensi akan mengalami pergerakan tanah ke arah selatan.



Gambar 4.9 Peta Elevasi Desa Olak Alen

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Ketebalan lapisan sedimen Desa Olak Alen antara 17,03 meter – 221,39 meter
2. Nilai amplifikasi Desa Olak Alen antara 1,3 – 6,2
3. Longsor di Desa Olak Alen berada pada daerah dengan nilai ketebalan sedimen 52-87 meter dengan arah longsor ke arah tenggara.
4. Longsor di Desa Olak Alen berasosiasi dengan nilai amplifikasi sedang-tinggi dengan nilai 4,1 – 5,7

5.2 Saran

1. Dapat dilakukan pengukuran kembali saat musim kemarau karena nilai fisis lapisan tanah yang dapat berubah dengan kondisi saat musim penghujan.
2. Ketebalan lapisan sedimen yang diperoleh valid dengan korelasi yang dilakukan terhadap hasil data bor sehingga hasil penelitian ini dapat dipercaya apabila dibutuhkan dalam penentuan lokasi bangunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhasanah, Fauziah. 2006. *Pemetaan dan Analisis Daerah Rawan Tanah Longsor Serta Upaya Mitigasinya Menggunakan Sistem Informasi Geografis*. Tesis. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong
- Gosar, A. 2007. *Microtremor HVSr Study for Assesing Site Effects in the Bovec Basin (NW Slovenia) Related to 1998 Mw 5.6 and 2004 Mw 5.2 Earthquake*. ELSEIVER Engineering Gelogy 91.
- Hamumantharao, C., and Ramana, G. 2008. "Dynamic soil properties for microzonation of Delhi, India", *Journal of Earth System Science*, Vol.117, No.S2, pp. 719-730
- Hartati, Lidia. 2014. *Pemetaan Tingkat Resiko Gempabumi Daerah Liwa dan Sekitarnya Berdasarkan Pengukuran Mikrotremor*. Thesis. Yogyakarta : UGM.
- Herak, M. 2008. *ModelHVSr: a Matlab tool to model horizontal-to-vertical spectral ratio of ambient noise*. *Computers and Geosciences* 34, 1514–1526.
- Mirzaoglu, M. and Dykmen, U. 2003. *Application of Microtremor to Seismic Microzoning Procedure*, *Journal of The Balkan Geophysical Society*, Vol.6 No.3.
- Mufida, A., Santosa, B. J., & Warnana, D. D. 2013. Inversi Mikrotremor Spektrum H/V untuk Profilling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Lapisan Bawah Permukaan dan Mikrozonasi Wilayah Surabaya. *Teknik POMITS*, 1-8.
- Nakamura. 1998. *A Method for Dynamic Characteristic Estimation of Subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. *Q.R. of R.T.* 30(1): 25-33.
- Nakamura, Y. 2008. On The H/V Spectrum. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering* :Beijing, China.
- Saaduddin, Sismanto, Marjiyono. 2015. Pemetaan Indeks Kerentanan Seismik Kota Padang Sumatera Barat dan Korelasinya dengan Titik Kerusakan Gempabumi 30 September 2009. Yogyakarta: *Proceeding*, Seminar Nasional Kebumihan ke-8
- SESAME. 2004. *Guidelines For The Implementation Of The H/V Spectral Ratio Technique on Ambient Vibrations*. Europe: SESAME European research project.
- Setiawan J.R. 2009. Mikrozonasi Seismitas Daerah Yogyakarta Dan Sekitarnya. *Tesis*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Sitorus, Santun R. P. 2006. *Pengembangan Lahan Berpenutupan Tetap Sebagai Kontrol Terhadap Faktor Resiko Erosi dan Bencana Longsor*. Direktorat Jenderal Penataan Ruang Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta
- Sunardi, B., Daryono, Arifin, J., & Susilanto, P. (2012). Kajian Potensi Bahaya Gempa Bumi Daerah Sumbawa Berdasarkan Efek Tapak Lokal. *Meteorologi dan Geofisika*, 131-137.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air*. Yogyakarta : Andi.
- Surono. 2003. *Potensi Bencana Geologi di Kabupaten Garut*. Prosiding Semiloka Mitigasi Bencana Longsor di Kabupaten Garut. Pemerintah Kabupaten Garut.
- Tokimatsu, K., & Miyadera, Y. (1992). Characteristics of Rayleigh waves in microtremors and their relation to underground structures. *J. Struct. Constr. Eng*(439), 81–87.
- Towhata, I., 2008. *Geotechnical Earthquake Engineering*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, xx+684p.
- Winoto, Prasetyo. 2010. *Analisis Mikrotremor Kawasan Universitas Brawijaya Berdasarkan Metode HVSr*. Thesis. Malang : Universitas Brawijaya.
- Yamanaka, H., M., T., H., I., & M., N. (1994). Characteristics of long-period microtremors and their applicability in exploration of deep sedimentary layers. *Bull. Seism. Soc. Am*, 84(6), 1831-1841.

LAMPIRAN

Akuisisi Data



Rekapitulasi Nilai

Nama Titik	F Natural	Amplifikasi	Ketebalan
TP 1	2,15	2,5	157,28
TP 2	2,75	3,42	110,15
TP 3	2,45	2,55	130,15
TP 4	2,3	1,76	142,62
TP 5	2,3	2,2	142,62
TP 6	3,05	2,51	94,89
TP 7	2,9	3,3	102,03
TP 8	2,6	2,27	119,44
TP 9	2,3	1,32	142,62
TP 10	10,4	5,9	17,03
TP 11	2,15	1,63	157,28
TP 12	4,7	3,86	51,21
TP 13	2,75	1,75	110,15
TP 14	2,45	1,8	130,15
TP 15	2,3	2,16	142,62
TP 16	2,3	1,71	142,62
TP 17	2,6	1,82	119,44
TP 18	2,6	2,32	119,44
TP 19	2,45	2,63	130,15
TP 20	2,15	1,84	157,28
TP 21	2	2,24	174,71
TP 22	2,3	2,01	142,62
TP 23	2,45	2,06	130,15
TP 24	2	1,91	174,71
TP 25	2,15	1,73	157,28
TP 26	1,7	2,13	221,39
TP 27	2,45	3,04	130,15
TP 28	3,95	4,23	65,54
TP 29	2,45	3,73	130,15

TP 30	1,85	3,99	195,71
TP 31	3,05	5,9	55,91
TP 32	2	2,32	96,38
TP 33	2,15	2,43	87,76
TP 34	1,85	2,31	106,64
TP 35	1,85	4,74	106,64
TP 36	1,85	4,38	106,64
TP 37	2,15	5,22	87,76
TP 38	2,15	5,72	87,76
TP 39	2,45	2,95	74,13
TP 40	3,2	4,35	52,57
TP 41	3,05	4,11	55,91
TP 42	3,2	4,05	52,57
TP 43	2,3	2,62	80,43
TP 44	2,3	2,18	80,43
TP 45	2,15	3,36	87,76
TP 46	2,15	4,11	87,76
TP 47	2	3,54	96,38
TP 48	2	2,37	96,38
TP 49	2,45	3,2	74,13
TP 50	2,3	3,84	80,43
TP 51	2,6	6,25	68,66
TP 52	2,6	3,71	68,66
TP 53	2,15	2,73	87,76
TP 54	3,35	3,03	49,57
TP 55	4,55	2,14	33,54

Kriteria Kurva H/V

[illegible]

Kurva H/V

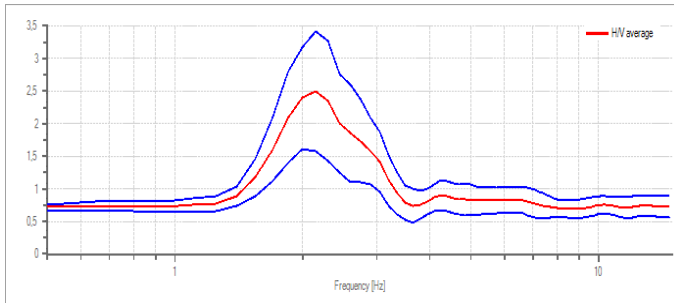
1. TP 1

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,37$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

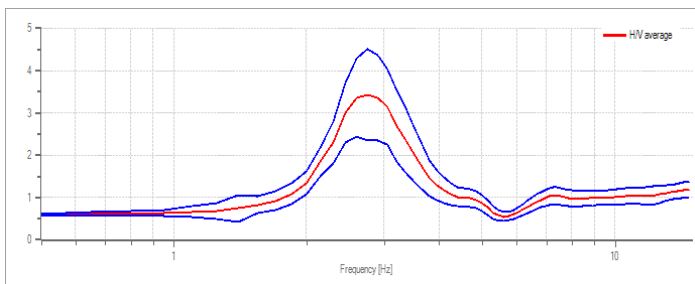
2. TP 2

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,90 Hz $\pm 0,35$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

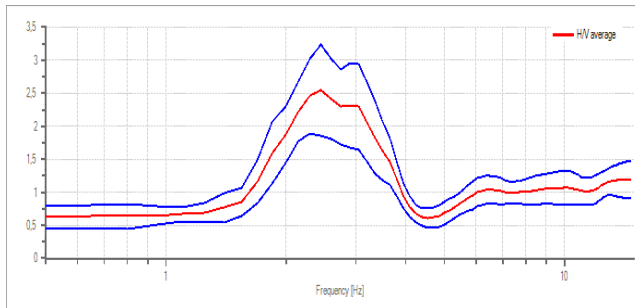
3. TP 3

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,27$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

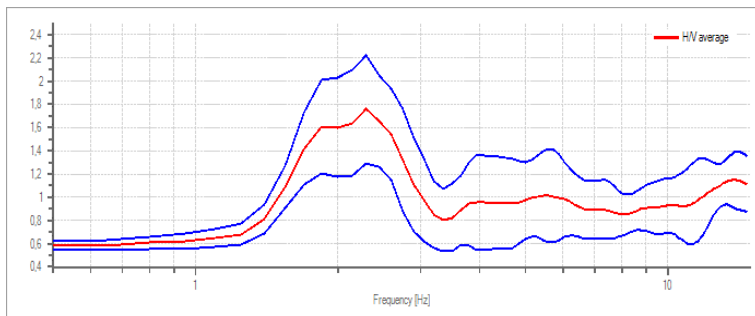
4. TP 4

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,31$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

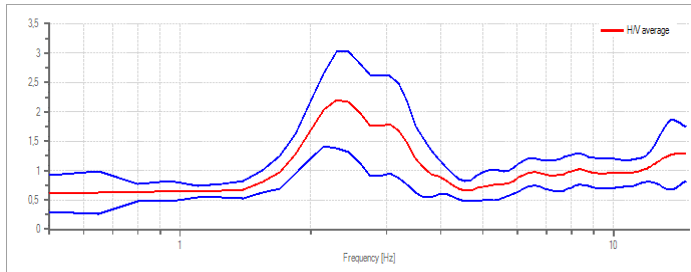
5. TP 5

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,41$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

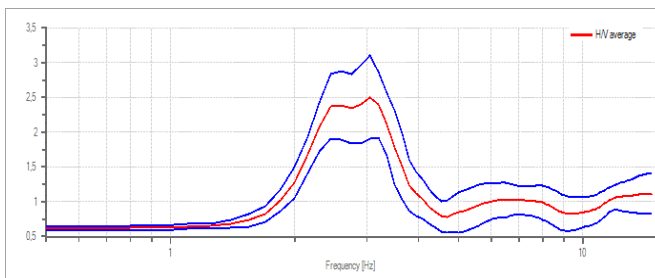
6. TP 6

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,90 Hz $\pm 0,40$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

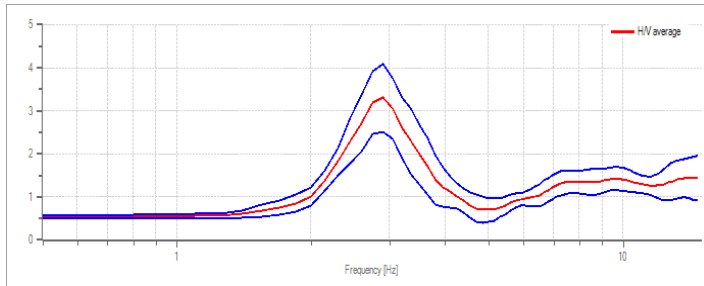
7. TP 7

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,75 Hz $\pm 0,41$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

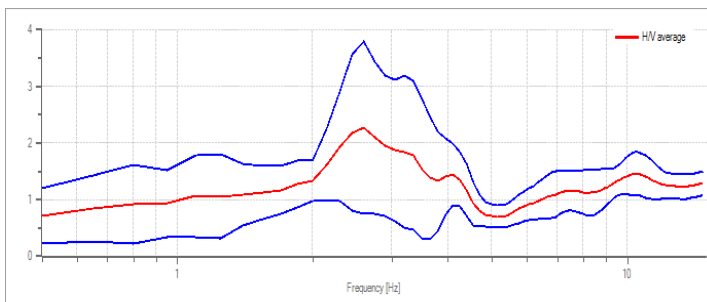
8. TP 8

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,68$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

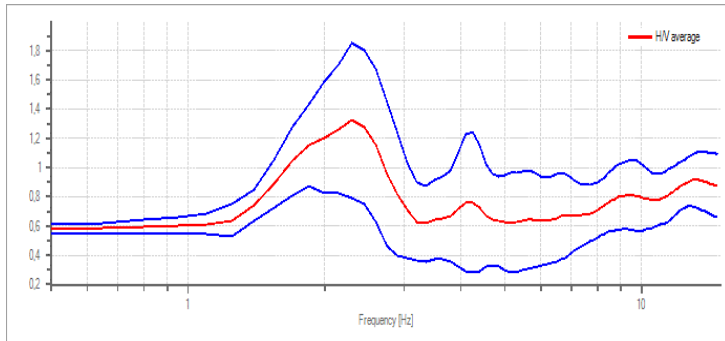
9. TP 9

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,41$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

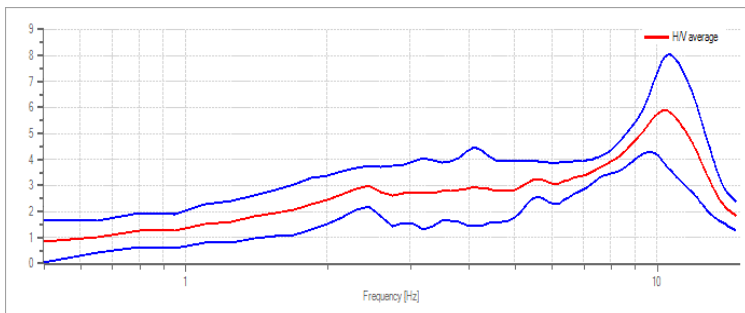
10. TP 10

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 10,40 Hz $\pm 0,34$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

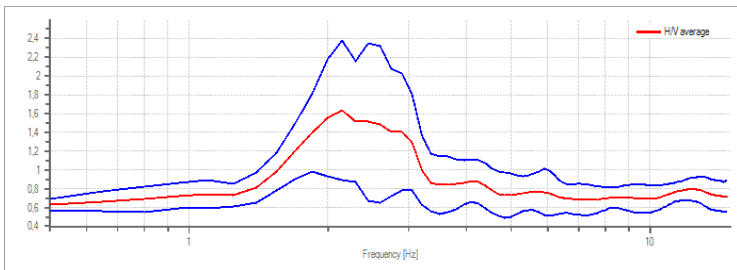
11. TP 11

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,47$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

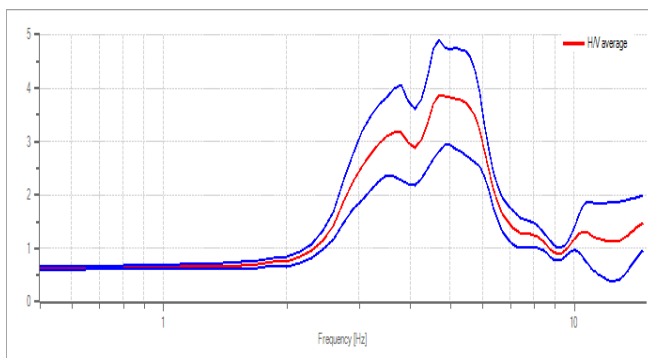
12. TP 12

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 3,05 Hz $\pm 0,35$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

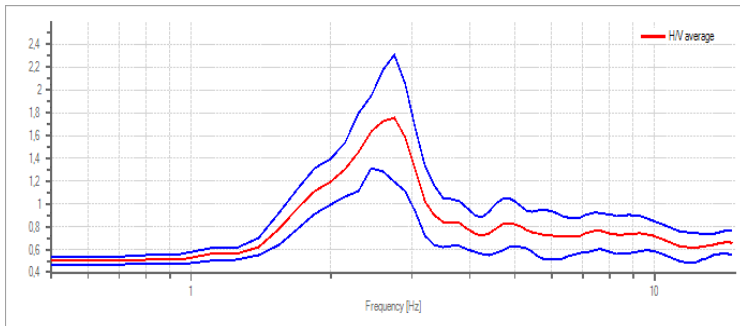
13. TP 13

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,75 Hz $\pm 0,32$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

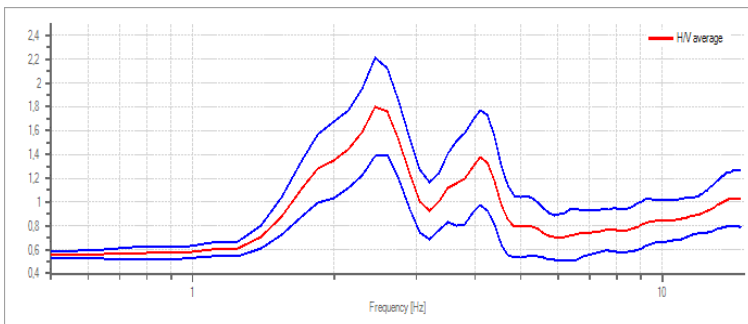
14. TP 14

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,26$ Hz

Spectral ratio chart H/V



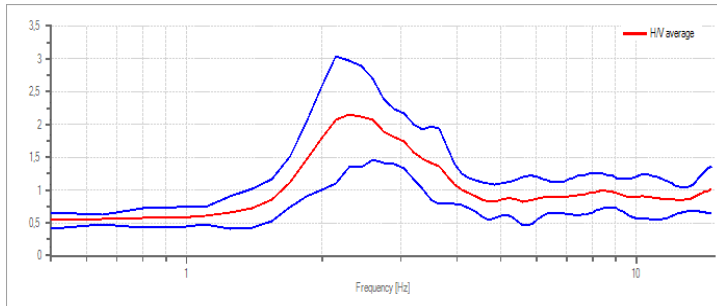
Spectral ratio H/V and its confidence interval

15. TP 15
Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,38$ Hz

Spectral ratio chart H/V



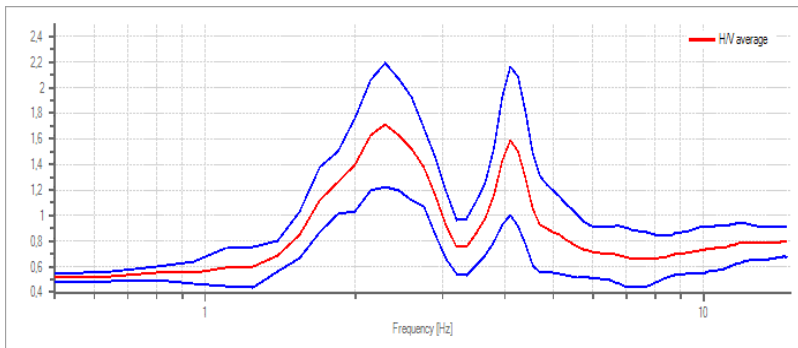
Spectral ratio H/V and its confidence interval

16. TP 16
Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,33$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

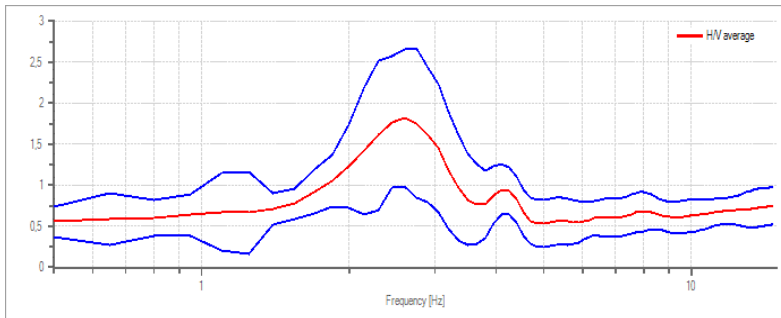
17. TP 17

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,60 Hz $\pm 0,60$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

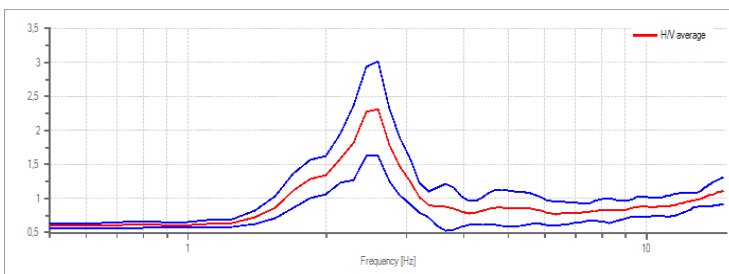
18. TP 18

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,36$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

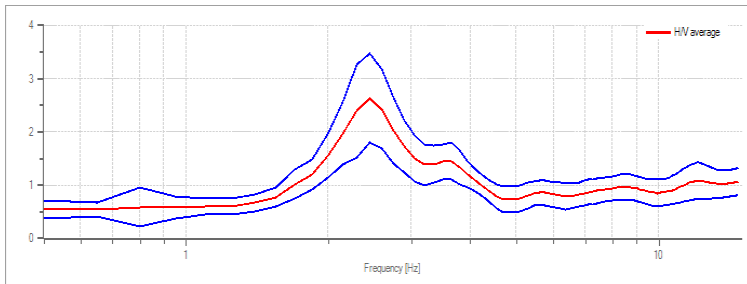
19. TP 19

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,32$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

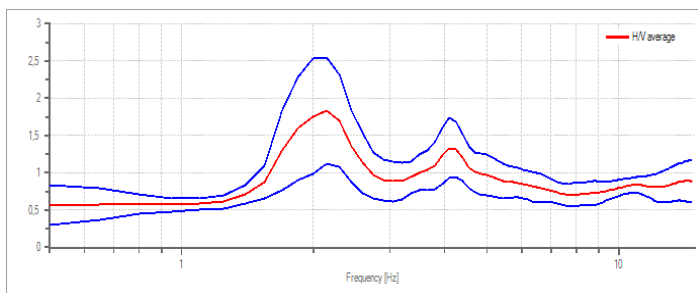
20. TP 20

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,39$ Hz

Spectral ratio chart H/V



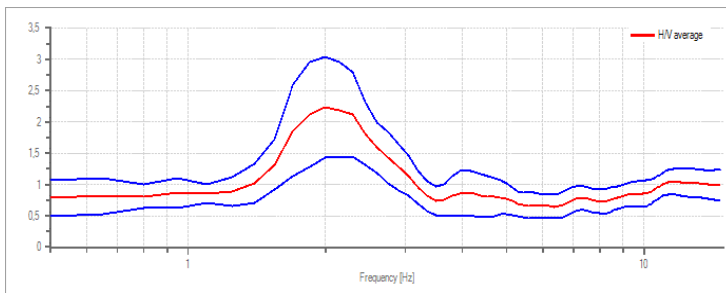
Spectral ratio H/V and its confidence interval

21. TP 21
Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,00 Hz $\pm 0,36$ Hz

Spectral ratio chart H/V



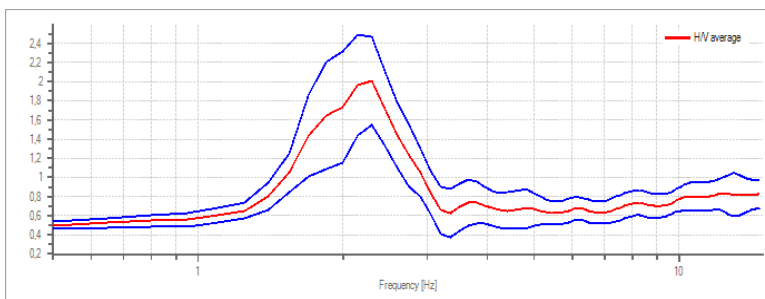
Spectral ratio H/V and its confidence interval

22. TP 22
Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,27$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

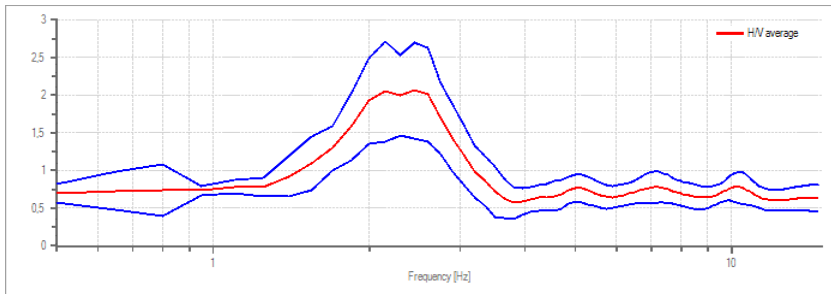
23. TP 23

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,31$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

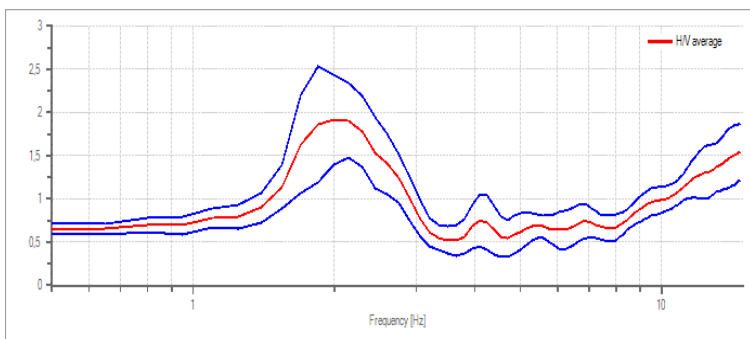
24. TP 24

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 1,85 Hz $\pm 0,40$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

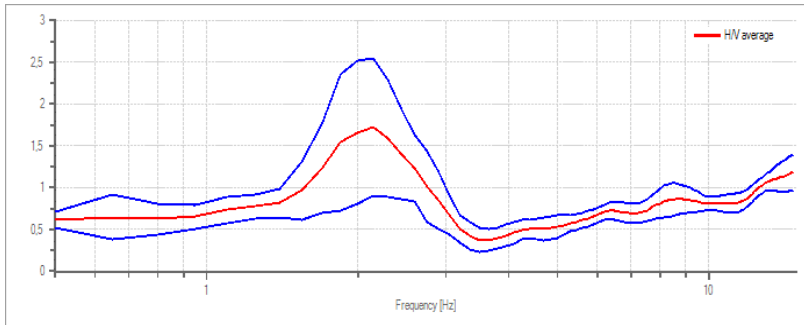
25. TP 25

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,00 Hz $\pm 0,48$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

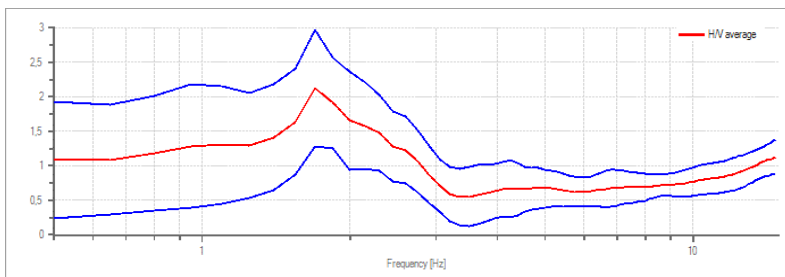
26. TP 26

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 1,70 Hz $\pm 0,40$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

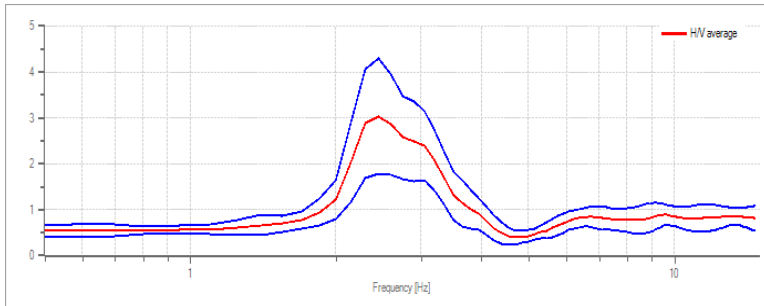
27. TP 27

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,41$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

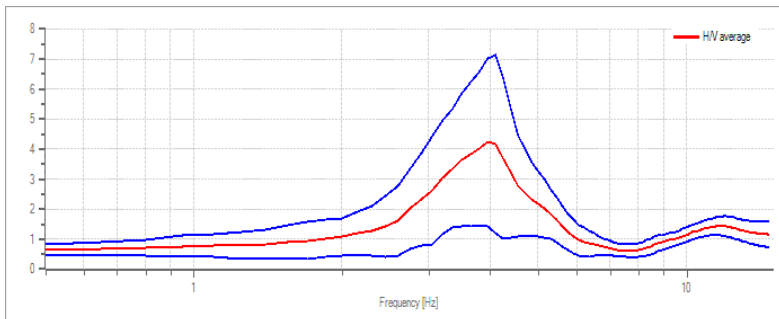
28. TP 28

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 3,95 Hz $\pm 0,66$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

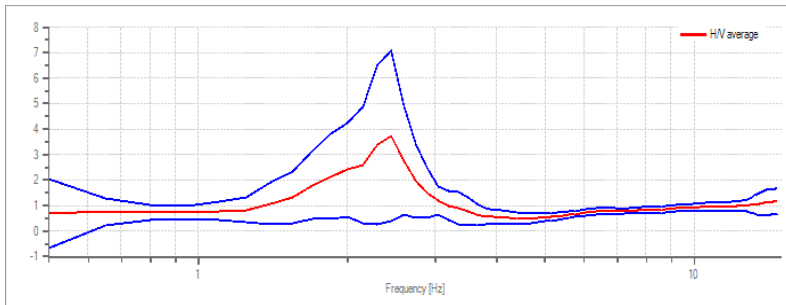
29. TP 29

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,89$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

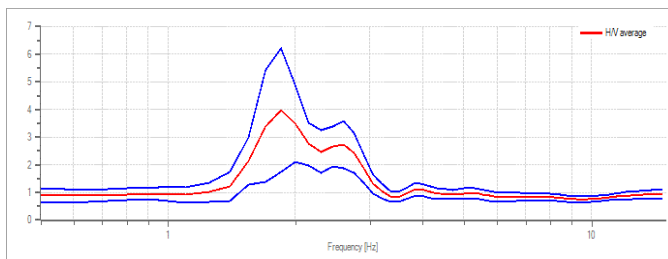
30. TP 30

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 1,85 Hz $\pm 0,56$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

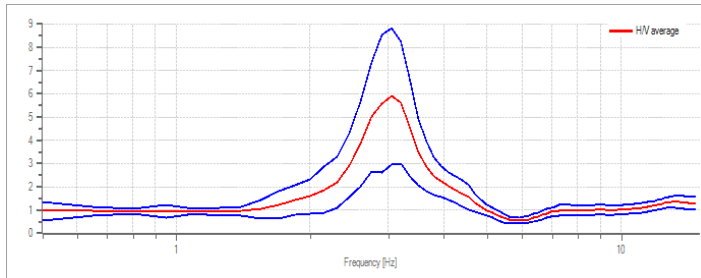
31. TP 31

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 0,50 Hz $\pm 0,87$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

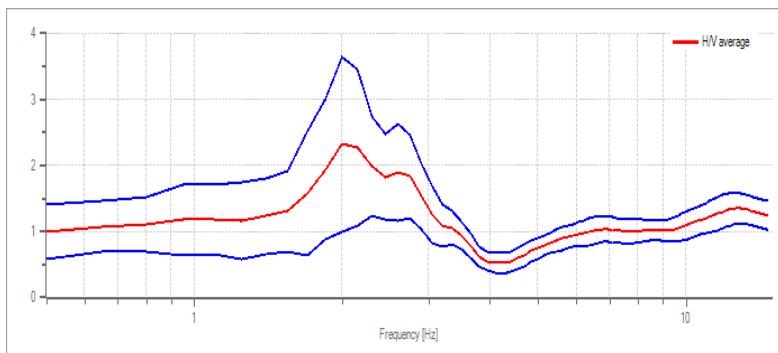
32. TP 32

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,52$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

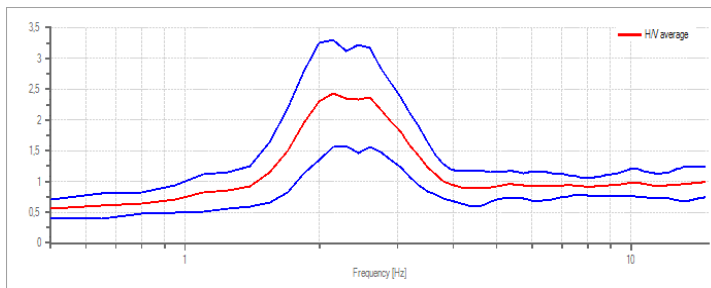
33. TP 33

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,37$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

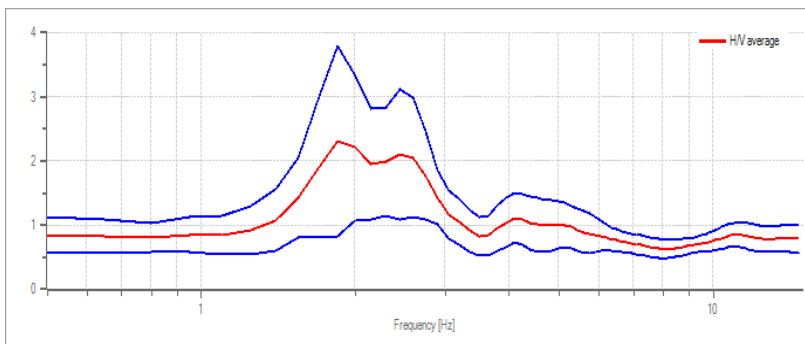
34. TP 34

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,60 Hz $\pm 0,38$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

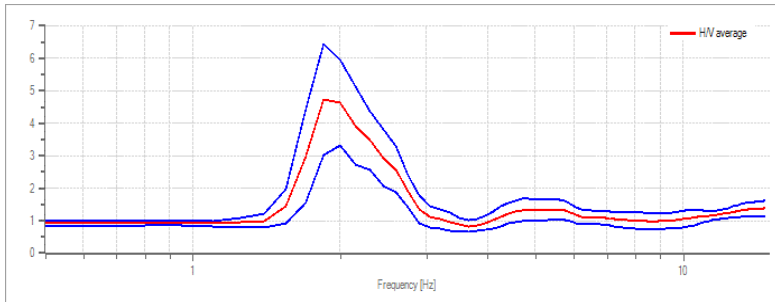
35. TP 35

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,00 Hz $\pm 1,04$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

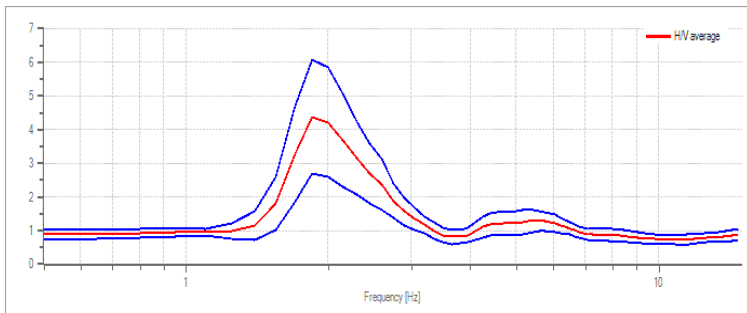
36. TP 36

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 1,85 Hz $\pm 0,47$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

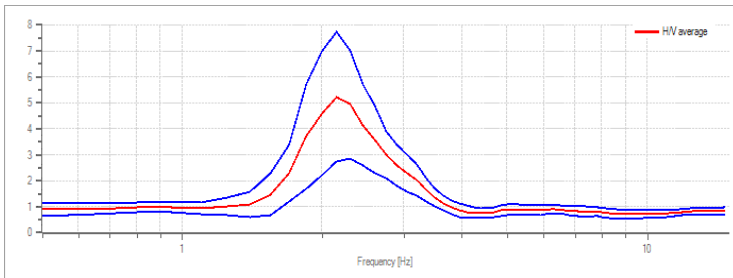
37. TP 37

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,00 Hz $\pm 0,67$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

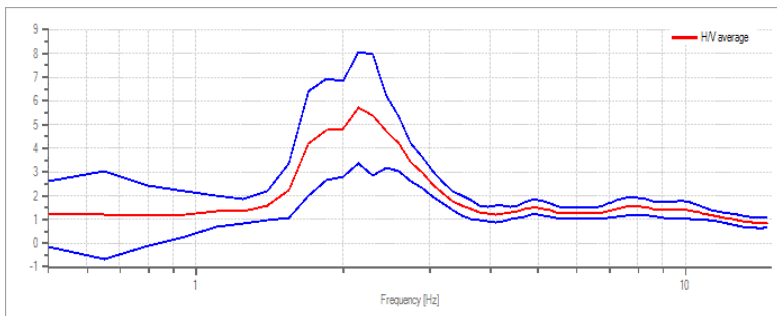
38. TP 38

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,52$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

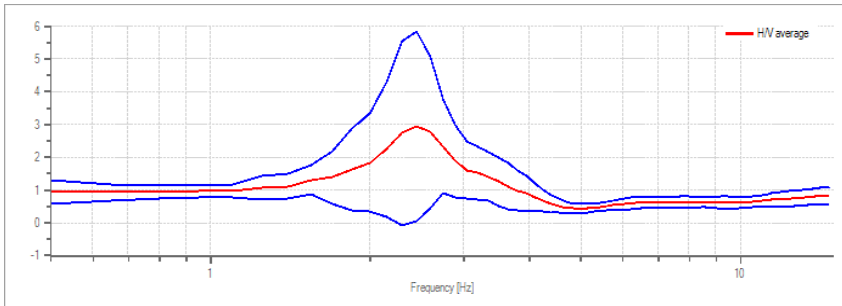
39. TP 39

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 1,25 Hz $\pm 0,84$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

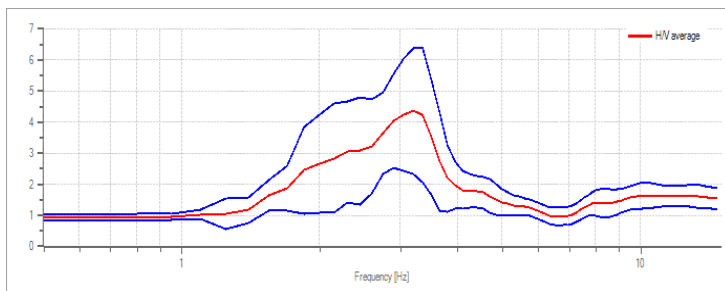
40. TP 40

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,90 Hz $\pm 0,37$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

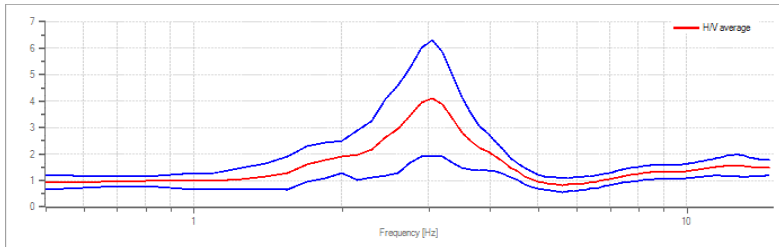
41. TP 41

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 1,85 Hz $\pm 0,55$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

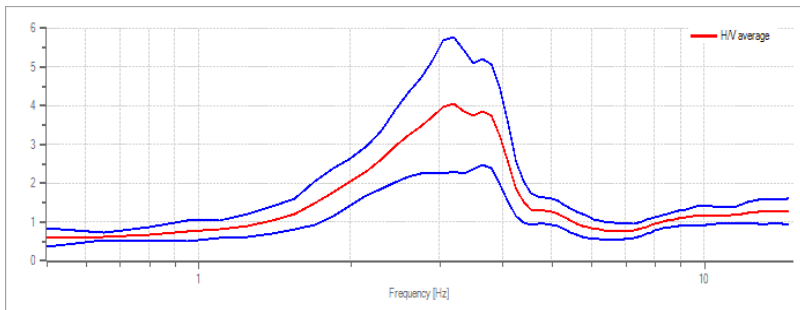
42. TP 42

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 3,20 Hz $\pm 0,43$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

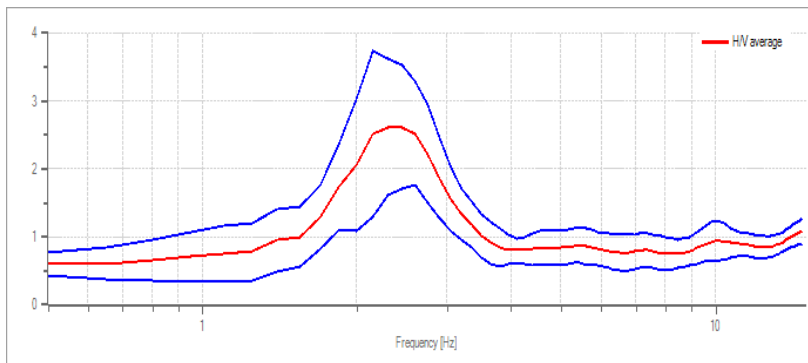
43. TP 43

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,38$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

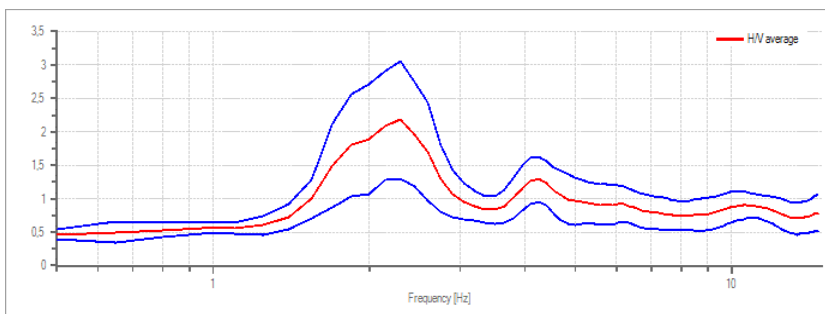
44. TP 44

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,41$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

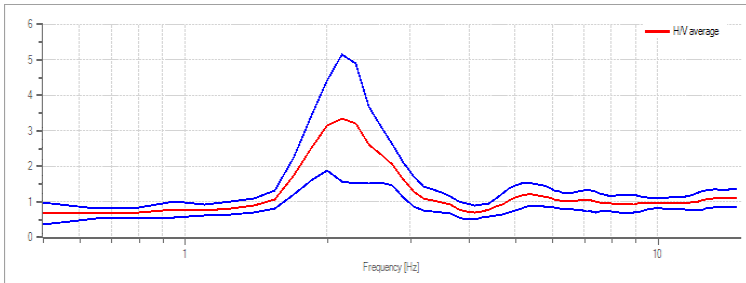
45. TP 45

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,58$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

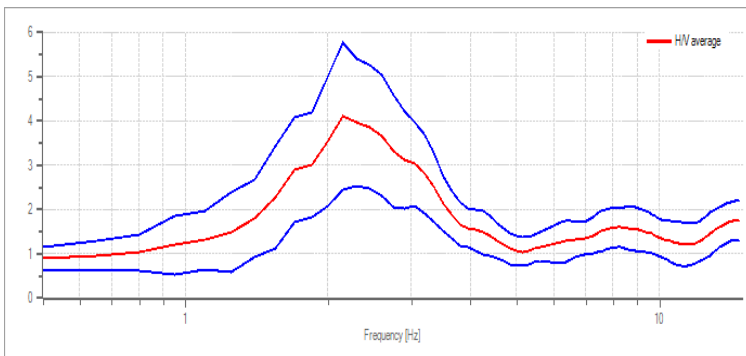
46. TP 46

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,40$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

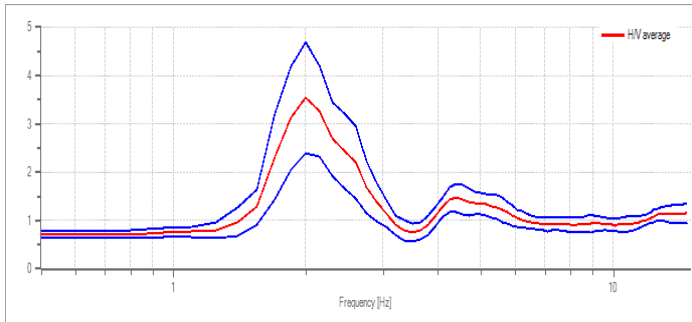
47. TP 47

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,00 Hz $\pm 0,73$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

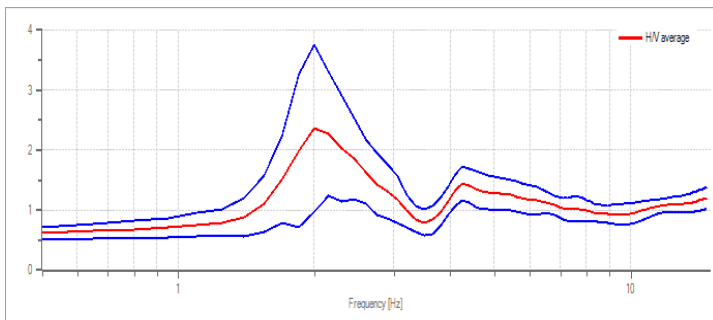
48. TP 48

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,00 Hz $\pm 0,76$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

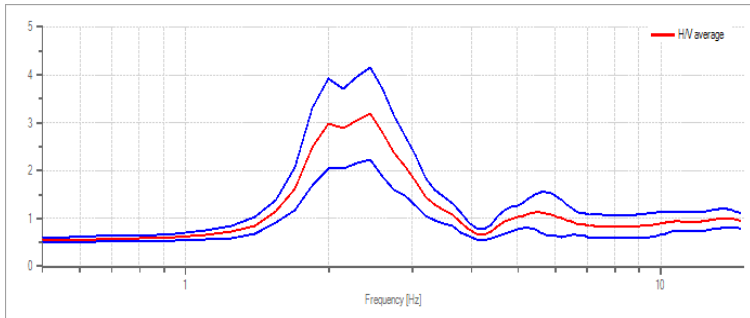
49. TP 49

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,45 Hz $\pm 0,39$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

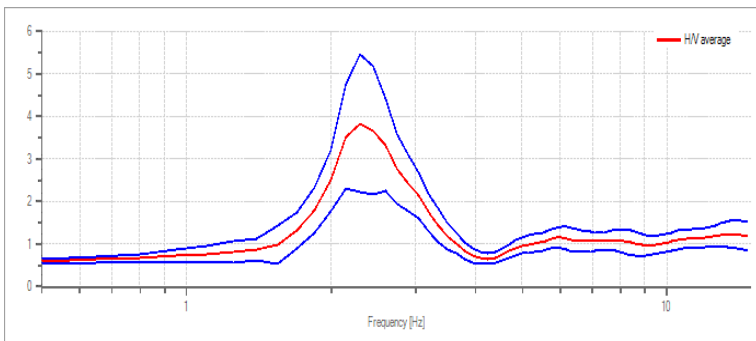
50. TP 50

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,30 Hz $\pm 0,41$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

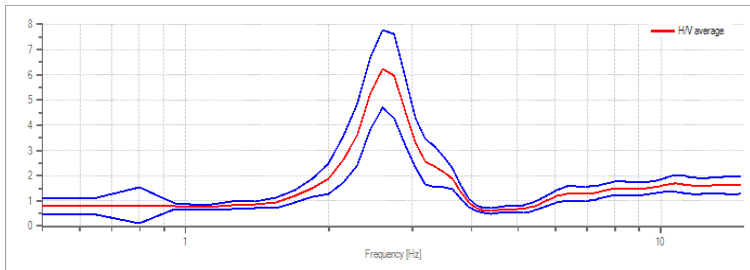
51. TP 51

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,60 Hz $\pm 0,25$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

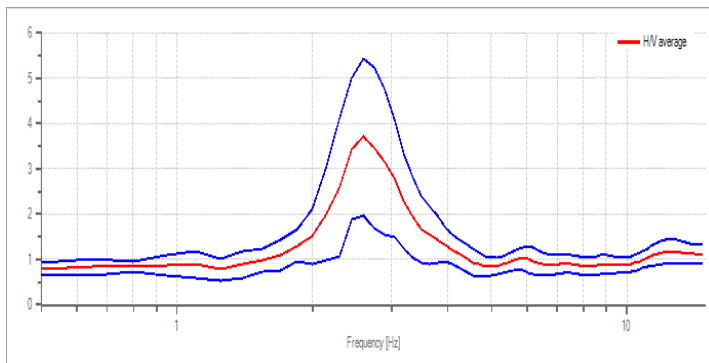
52. TP 52

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,60 Hz $\pm 0,47$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

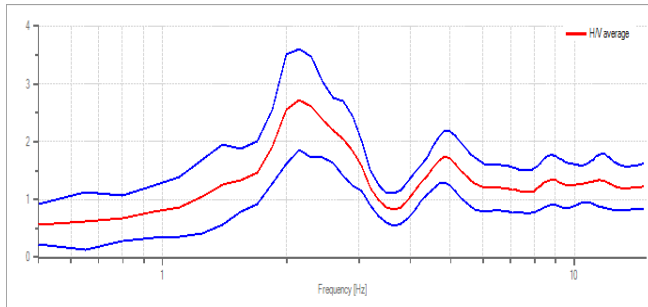
53. TP 53

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 2,15 Hz $\pm 0,32$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

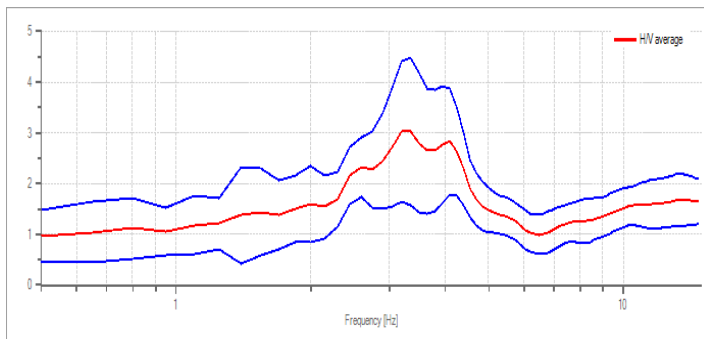
54. TP 54

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 3,20 Hz $\pm 0,57$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

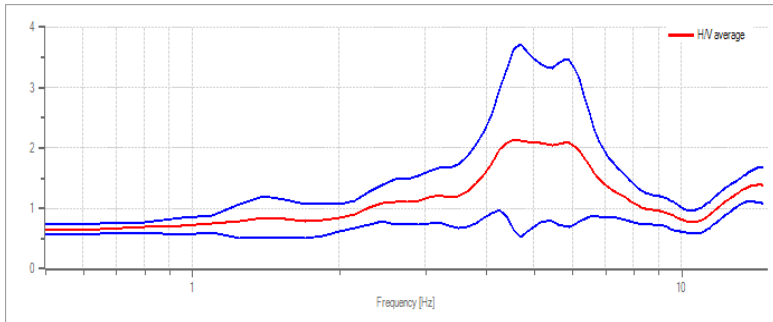
55. TP 55

Spectral ratio H/V

Results:

Peak frequency of the ratio H/V: 5,75 Hz $\pm 0,38$ Hz

Spectral ratio chart H/V



Spectral ratio H/V and its confidence interval

BIODATA PENULIS



Penulis dengan nama lengkap Nomensen Marojahan Huria Sitorus lahir di Porsea pada 18 Desember 1995. Penulis menempuh Sekolah Dasar di SD Negeri Nagatimbul No. 173661 pada tahun 2001-2007. Lalu melanjutkan Sekolah Menengah Pertama ke SMP Swasta Budhi Dharma Balige pada tahun 2007-2010. Kemudian melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMA Negeri 2 Asrama Yayasan Sopoturung Balige pada tahun 2010-2013. Setelah lulus SMA penulis melanjutkan studi pendidikan tinggi di Departemen Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Selama perkuliahan di ITS penulis tidak hanya aktif dalam perkuliahan tetapi juga mengasah kemampuan soft skill melalui organisasi dan kegiatan baik di dalam kampus maupun diluar kampus.

Organisasi dan kegiatan yang rutin diikuti oleh penulis di dalam kampus salah satunya adalah PMK ITS. PMK ITS merupakan Organisasi bidang Kerohanian Kristen di ITS. Selain itu penulis juga aktif sebagai pengurus dalam organisasi Forda MBP pada 2013-2015. Kegiatan mahasiswa lainnya yang rutin diikuti penulis adalah UKM Badminton. Penulis yang memiliki hobi bermain badminton ini juga aktif dengan kegiatan pelayanan Gereja dan organisasi diluar kampus seperti Pengurus NHKBP Manyar.

Buku ini merupakan tugas akhir penulis sebagai syarat untuk memenuhi kelulusan S1. Jika ingin mengetahui lebih lanjut terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis via email nomensen.sitorus@gmail.com.

